

DEBRECENI EGYETEM
AGRÁRTUDOMÁNYI CENTRUM
MEZŐGAZDASÁGTUDOMÁNYI KAR
FÖLDMŰVELÉSTANI TANSZÉK

NÖVÉNYTERMESZTÉSI ÉS KERTÉSZETI TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA

Doktori iskola vezető: Dr. Ruzsányi László MTA doktora

Témavezető:

Dr. Nagy János
MTA doktora

**NÖVÉNYTERMESZTÉSI TÉNYEZŐK ÉRTÉKELÉSE A CERES-MAIZE
3.5 MODELLEL TALAJMŰVELÉSI TARTAMKÍSÉRLETBEN**

Készítette:

Megyess Attila

Debrecen
2001

NÖVÉNYTERMESZTÉSI TÉNYEZŐK ÉRTÉKELÉSE A CERES-MAIZE 3.5 MODELLEL TALAJMŰVELÉSI TARTAMKÍSÉRLETBEN

Értekezés a doktori (Ph.D.) fokozat megszerzése érdekében
a növénytermesztési és kertészeti tudományágban

Írta:
Megyes Attila
okleveles agrármérnök

A doktori szigorlati bizottság:

	név	tud. fok.
elnök:	Dr. Ruzsányi László	MTA doktora
tagok:	Dr. Birkás Márta	mg. tud. kandidátusa
	Dr. Thyll Szilárd	mg. tud. kandidátusa

A doktori szigorlat időpontja: **2000. április 18.**

Az értekezés bírálói:

név, tud. fok.	aláírás
Dr. Kismányoky Tamás mg. tud. kandidátusa
Dr. Kovács Géza János biol. tud. kandidátusa
.....

A bírálóbizottság:

név, tud. fok.	aláírás
Elnök: Dr. Pepó Péter mg. tud. kandidátusa
Tagok: Dr. Németh Tamás MTA lev. tag
Dr. Menyhért Zoltán MTA doktora
Dr. Széll Endre mg. tud. kandidátusa
Dr. Sárvári Mihály mg. tud. kandidátusa
Dr.
Dr.

Az értekezés védésének időpontja: **2001.**

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS	3
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	5
2.1. A CERES-MAIZE SZIMULÁCIÓS MODELL ALKALMAZÁSA A MEZŐGAZDASÁGI KUTATÁSBAN	5
2.2. A NÖVÉNYSZÁM ÖSSZEFÜGGÉSE A KUKORICA SZEMTERMÉSÉVEL, EGYEDI PRODUKCIÓJÁVAL, TERMÉSKÉPZŐ ELEMEIVEL	11
2.3. A KUKORICA TALAJMŰVELÉSI MÓDJAI	16
2.4. A MŰTRÁGYÁZÁS HATÁSA A KUKORICA TERMÉSÉRE ÉS TERMÉSKOMPONENSEIRE	21
2.5. A KUKORICA LEVÉLTERÜLET-INDEXÉNEK ÖSSZEFÜGGÉSE A NÖVÉNYTERMESZTÉSI TÉNYEZŐKKEL	25
2.6. A KUKORICA SZÁRAZANYAG-GYARAPODÁSA ÉS KAPCSOLATA A NÖVÉNYTERMESZTÉSI TÉNYEZŐKKEL	28
3. ANYAG ÉS MÓDSZER	32
3.1. A TALAJMŰVELÉSI KÍSÉRLET FONTOSABB JELLEMZŐI	32
3.2. A VIZSGÁLT TERÜLET TALAJTANI JELLEMZÉSE	34
3.3. A KÍSÉRLET TECHNOLÓGIAI ADATAI	36
3.4. A KÍSÉRLET ÉGHAJLATI JELLEMZŐI	38
3.5. KUTATÁSHOZ HASZNÁLT VIZSGÁLATI MÓDSZEREK	43
3.5.1. <i>A szimulációs modell általános jellemzése</i>	43
3.5.2. <i>A modell bemenő és eredmény adatállományai</i>	45
3.5.3. <i>Növényvizsgálati módszerek</i>	51
3.5.4. <i>Talajvizsgálati módszerek</i>	53
3.5.5. <i>Vizsgálati eredmények feldolgozásának és értékelésének módszertana</i>	53
4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉS	55
4. 1. A TALAJ NEDVESSÉGGÉSZLETE A SZIMULÁCIÓ INDULÁSAKOR	55
4.2. A TALAJ ÁSVÁNYI NITROGÉN GÉSZLETE A SZIMULÁCIÓ INDULÁSAKOR	60
4.3. TALAJMŰVELÉS HATÁSA A KUKORICA EGYEDI SZEMTERMÉS-PRODUKCIÓJÁRA ÉS A NÖVÉNY- SZÁMRA	65
4.4. A MODELL KALIBRÁLÁSÁHOZ SZÜKSÉGES GENETIKAI PARAMÉTEREK MEGÁLLAPÍTÁSA	73
4.5. A CERES-MAIZE 3.5 SZIMULÁCIÓS MODELL BECSLÉSÉNEK ÉRTÉKELÉSE	77
4.5.1. <i>A kukorica fenológiai jellemzőinek becslése</i>	77
4.5.2. <i>A kukorica fontosabb növekedési és fejlődési változóinak szimulációja</i>	84
4.5.3. <i>Mért és a modell által becsült szárazanyag-gyarapodás időbeli változásának értékelése</i>	104
4.5.4. <i>Mért és a modell által becsült levélterület-index időbeli változásának értékelése</i>	108
4.6. A CERES-MAIZE 3.5 MODELLEL VÉGZETT SZIMULÁCIÓS KÍSÉRLETEK	113
5. ÖSSZEFOGLALÁS	118
6. ÚJ ÉS ÚJSZERŰ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	124
7. IRODALOMJEGYZÉK	126

1. BEVEZETÉS

Az utóbbi években fokozódik a kutatók érdeklődése az ún. crop-modellek alkalmazása iránt. A döntéselőkészítő 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 (légkörben, 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 tenyésztési folyamat során 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 vetésciklusok 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 termésé 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 tenyészedőszakban;
- a vizsgálatokhoz használt Ceres-Maize 3.5 szimulációs modell megbízhatóságának vizsgálata, illetve a modell adaptálása a fent említett kísérlet adatbázisa alapján.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A CERES-Maize szimulációs modell alkalmazása a mezőgazdasági kutatásban

A 70-80-as évektől kezdve, amióta a személyi számítógépek egyre elérhetőbbé váltak, mindennapjaink részévé lettek, a szimulációs modellezés rendkívül gyors fejlődésének lehetünk tanúi. Számos modell látott napvilágot azóta, amelyekkel jól leírhatók az időjárási folyamatok, a talaj vízkészletében bekövetkező változások, a tápanyagok mozgása és körforgalma, a talajművelés, a talaj eróziója, a talajhőmérséklet és a növények növekedése, fejlődése. Ezen modellek nagy része azonban a jelenségeknek csak meghatározott körét írja le, azaz csupán néhány különálló, egyedi részfolyamatot szimulál, mint pl. a nitrát-bemosódás és felhalmozódás, a talajhőmérséklet vagy a víz mozgása a talajban.

Az utóbbi években viszont már olyan összetett modellek is megjelentek a mezőgazdasági kutatásban, amelyek a talaj-növény-klíma rendszer egészét felölelve próbálják meg e részfolyamatokat integrálni, egységként kezelni. A Ceres-Maize modell ezen modellek egyike.

A Ceres-Maize modellt a világ számos pontján alkalmazták már, így többek között az USA-ban, illetve Nyugat-Európában (HODGES et al., 1987; PIPER és WEIS, 1990). Ausztrália szemi-arid viszonyai között (CARBERRY et al., 1989; HARGREAVES és McCOWN, 1988), a Hawaii-szigeteken (MANRIQUE és HODGES, 1991), Brazíliában és Kínában (RUDGET és BONHOMME, 1991; WU et al., 1989), valamint Argentínában (OTEGUI et al., 1996). A modellt Nyugat-Európa óceáni, illetve nedves kontinentális éghajlatú területein LAHROUNI és LEDENT (1989, 1990) tesztelte Belgiumban, míg Franciaországban LORGEOU (1991) és PLANTUREAUX et al. (1991), Németországban pedig ENTENMANN et al. (1989) vizsgálták a modell alkalmazhatóságát. A modellt Afrika több országában, így Malawi, Kenya és Zimbabwe szemi-arid, szárazságra hajló viszonyai között is felhasználták szimulációs célokra (SAKA et al, 1994; KEATING et al., 1992; MAKADHO, 1996).

A nemzetközi szakirodalomban nagy hangsúlyt kap a modell validálása, azaz a modell megbízhatóságának kellően széleskörű adatbázison történő tesztelése. A validálás során leggyakrabban a modell fontosabb eredmény-változóit (a fiziológiai érettség vagy a betakarítás idején mért szemtermés, biomassza, szemszám, nővirágzás ideje stb.) hasonlították össze a kísérletben mért adatokkal. A fent említett publikációk nagy részénél úgy használták fel a genetikai paramétereket a modell kalibrációja során, hogy nem szenteltek túlzott

figyelmet sem azok eredeti, a szántóföldi mérésekből származó értékeire, sem pedig biológiai jelentésükre.

PLANTUREAUX et al. (1991) szerint a modell rendkívül érzékeny a genetikai koefficiensek értékeire, amelyek közül néhányat nagyon nehéz közvetlenül, mérés segítségével meghatározni. A Nyugat-Európában elvégzett, szimulációs vizsgálatok hibája meglehetősen nagy volt, akár közvetlenül mérték, akár a Ceres-Maize kézikönyvben megadott információk alapján számították ki a futtatáshoz szükséges paramétereket (LAHROUNI et al., 1993). BONHOMME et al. (1991) arról számolnak be, hogy szimuláció során a modell akár 5 levéllel is többet becsült a valóságosnál, PLANTUREAUX et al. (1991) kísérletében viszont a levélterület-index értékét a modell 55 %-kal becsülte alul. BONHOMME et al. (1991) megfigyelései szerint a nővirágzás időpontjának becslése eléggé pontatlan volt; a becslés hibája -5 és +3 nap között ingadozott (Mons, Franciaország). PLANTUREAUX et al. (1991) hasonló eredményeket tettek közzé a franciaországi Colmar-ban, ahol a Dea kukorica hibriddel elvégzett modellfuttatások -9 és +1 napos hibával becsülték a nővirágzás idejét. A négyzetméterenkénti szemszám szisztematikus alulbecslése, illetve az ezerszemtömeg túlbecslése szintén meglehetősen gyakran fordult elő (LORGEOU, 1991). A problémák megoldásához a modell kalibrációja nem nyújt mindig elegendő segítséget. DE WIT (1970) szerint a szimulációs modell a kutatást segítő, jelenségeket értelmező segédeszközből könnyen demonstratív modullé egyszerűsödhet, ha a bemenő paraméterek beállításának túl nagy jelentőséget tulajdonítunk. A modell adaptálása pedig egyszerű, szubjektív görbeillesztési technikává válik. A P1-es genetikai koefficiens nagymértékben meghatározza a levelek lehetséges számát, és ezáltal a nővirágzás idejét, valamint a termés nagyságát is (JONES és KINIRY, 1986). DAUDET és HARENA (1991) vizsgálataiban a nővirágzás idejére adott becslés átlagos hibája 3.3 nap volt akkor is, ha a P1-es paramétert úgy állították be, hogy a hiba a lehető legkisebb legyen.

A fenti kutatási eredmények a modell kisebb-nagyobb hibáira világítanak rá. Ez arra ösztönzi a modellezéssel foglalkozó kutatókat, hogy a szimulált eredmények pontosítása érdekében a modell bizonyos paramétereit módosítsák. Erre számos példát találunk a szakirodalomban.

LAHROUNI et al. (1993) a levelek növekedése és fejlődése, a nővirágzás, a szemtelítődés és a betakarításkori termés kapcsán részletesen tanulmányozták a modell függvényeit és azok működését. Belső ellentmondásokat találtak a modellben a levelek megjelenését, valamint a

virágzás idejének meghatározását illetően, és munkájukban javaslatot tesznek a szükséges korrekciókra. A kísérletben mért levélterület-index értékeket túlbecsülte a modell, ezért módosították azokat a függvényeket, amelyek a levélterület növekedését és a levélöregedést írják le. A modell egyes részeinek korrigálása azonban nem javította minden esetben a szemtermés becslésének pontosságát, mivel az eredeti verzióban meglévő hibák egymást kölcsönösen ellensúlyozták, kiegyenlítették.

A levélterület növekedését leíró függvényeket PLANTUREAUX et al. (1991) szintén módosították, hogy csökkentsék a levélfelület becslésének meglehetősen nagy hibáját. A G2-es (egy csövön lehetséges szemek száma) és a G3-as (a szárazanyag-beépülés maximális sebessége a szemtelítődés lineáris fázisában) genetikai paraméterek precíz meghatározása sem javította a szemszám és a szemtömeg szimulációjának pontosságát. A mai gyakorlatban használt hibridek genetikai paramétereit hiába keressük a Ceres-Maize kézikönyv leírásában, emellett számos ellentmondást is felfedezhetünk a koefficiens értékeit illetően a kalibráció eltérő módjait választó szerzők munkáiban. Mindez számos nehézséget jelent a modell tesztelésekor és annak részletes felülvizsgálatát teszi szükségessé (LORGEU, 1991).

BOCCHI et al. (1994) négy eltérő érésidejű kukorica hibridet használt a modell teszteléséhez az észak-olaszországi Pó-folyó völgyében. A 11 évet felölelő vizsgálat eredményei alapján néhány modellparaméter (függvény) módosítását is feltétlenül indokoltnak tartja ebben a környezetben.

WU (1989) eredményei szerint a modell következetesen túlbecsülte a termést csapadékos években, míg száraz, aszályos esztendőben a modellezett termés a mért adatoknál kisebb volt. Öntözés hatására növekedett a becslés pontossága. A becsült eredmények még jobban megközelítették a mért értékeket, amikor a modellt a többlet vízmennyiség hatásának figyelembe vétele érdekében az ún. növényi nedvesség-index-szel módosították. Az eredmények a módosított modell alkalmazhatóságát bizonyítják az Észak-Kínai Alföld különböző csapadék-ellátottságú régióiban.

A modell módosítására további példaként CARBERRY et al. (1989), illetve RETTA et al. (1991) munkáit említhetjük meg. CARBERRY kutatócsoportja ausztrál szemi-arid viszonyok mellett, míg RETTA és munkatársai az USA-beli Kansas-ban tesztelték a modellt.

THORTON és HANSEN (1996) a Ceres-maize modellt használták fel arra, hogy szemléltessék a megfigyelt és a mért adatok közti regressziós összefüggés F-próbájának hibáját. "Intuitív megnyilvánulása" ellenére az F-próba sokszor félrevezető lehet. A

modellezett és a valós, kísérleti adatok közötti kapcsolattól függően a már validált modell elvetésének a valószínűsége nagyobb mintaelemszám esetén növekedhet. Az összetett szimulációs modellek validálási tesztjében azonban e jelenséget szakmailag nem fogadhatjuk el.

Sokan foglalkoztak a Ceres-Maize modell, illetve egyéb, hasonló szimulációs modell(ek) párhuzamos összehasonlításával is. Ezek a vizsgálatok amellett, hogy rendkívül tanulságosak, fontos eredményeket szolgáltathatnak nemcsak a tesztelést végző kutatók, hanem a modellt megalkotó, kifejlesztő munkacsoportok számára is.

KINIRY et al. (1997) munkájukban az ALMANAC (Agricultural Land Management Alternatives with Numerical Assessment Criteria), illetve a Ceres-Maize modellt hasonlították össze az USA kilenc államában. Vizsgálataik szerint mindkét modell kielégítően szimulálta az öntözéses kukoricatermesztésből származó termésadatokat. A modellek olyan években sem becsülték jelentősen alul vagy túlságosan felül a mért termést, amikor túlságosan kicsi, vagy éppen ellenkezőleg, kiemelkedően nagy volt a kukorica termése.

KLOCKE et al. (1996) a csupasz talajfelszín evaporációját vizsgálták öntözött körülmények között, a kukorica levelei alatt elhelyezett mini-liziméterrel. A tenyésztési időszak folyamán mért adatokat három szimulációs modell (Ritchie, Ceres-Maize, Epic) becsülésével hasonlította össze. A Ceres-Maize és a Ritchie-modell szimulált értékei álltak legközelebb a liziméterrel mért adatokhoz. Az Epic-modell viszont teljes növényborítottságnál alacsonyabb talajpárolgást becsült.

A kukorica szezonális fitotömege, szemtermése, levélterület-indexe, valamint a talajnedvesség-tartalom tenyésztési időszakban mért értékei alapján hasonlították össze XEVI et al. (1996) a SWATER-SUCROS, illetve a Ceres-Maize modellt. Mindkét modell a szántóföldi mérés hibahatárán belül becsülte a talaj nedvességtartalmát, illetve a növényi változók értékeit. Az összehasonlító statisztikai vizsgálatok szerint a Ceres-Maize modell pontosabban becsülte a talaj nedvességtartalmának szezonális változását, míg a föld feletti növényi biomassza, illetve az egységnyi területre jutó levélborítottság modellezett értékei a SWATER-SUCROS modell esetén közelítették meg legjobban a szántóföldön mért adatokat.

A modellt sikerrel alkalmazták az öntözés hatásainak értékelésére. EPPERSON et al. (1992) az ún. sztochasztikus dominancia analízist használta fel három öntözési stratégia vizsgálatához. Az első öntözési változatban az öntözés akkor indult automatikusan, ha a modell ellenőrzése alá vont talajrétegben a növényállomány által felhasználható vízkészlet a

megadott alsó küszöbértéket (20 %) elérte. A második változat szerint akkor öntöztek, ha a növényi stresszfaktort 70-80 %-ra emelkedett. A harmadik módszerben két alkalommal, fix, meghatározott vízmennyiséget juttattak ki; először címerhányáskor, majd ezt követően 21 nap múlva. A vizsgálat alapján az utóbbi két módszer előnyösebb, ha a felhasznált vízmennyiséggel takarékoskodni kell.

Öntözéssel termesztésben a legnagyobb nettó jövedelem ún. dinamikus szimulációval, a kukorica egyes fenológiai fázisaihoz igazított, változó nagyságú öntözési küszöbértékkel érhető el olyan területeken, ahol az öntözésre szánt vízmennyiség korlátozott. EPPERSON et al. (1993) vizsgálatai szerint a kukoricaállomány fenológiai fázisaihoz igazított, a növény változó vízigényéhez dinamikusan alkalmazkodó öntözési küszöbértékek használatával jelentősen növekedett az átlagos nettó jövedelem. Emellett kevesebb öntözésre volt szükség, mint a tenyészidőszak folyamán végig egységes, meghatározott küszöbértékeket alkalmazó szimulációs öntözési módszerek esetén.

BELTRAO et al. (1996) a Ceres-maize modellt alkalmassá tették a kapilláris vízemelés hatásainak szimulálására. Kísérleteikben a kukorica növekedését vizsgálták Portugália magas talajvízszintű területein. Abból a feltételezésből indultak ki, hogy a kapilláris vízemelés közvetlenül a vetés előtt alapvetően meghatározza a talajnedvesség-profil kezdő értékeit. A szimuláció eredménye szerint a kukorica termése optimális talaj : víz : levegő arány esetén volt a legnagyobb. Nagy mennyiségű öntözővíz kijuttatásakor a kapilláris vízemelés negatív hatásai miatt csökkent a termés. Kis öntözővíz-adagok esetén a legjobb víz : levegő arányt akkor érték el, ha a talajvíz szintje a felszíntől számított 1 m alatt volt.

PANG et al. (1997) az öntözés és a N-műtrágyázás környezetvédelmi vonatkozásait elemzik a modell segítségével. Kísérleteik alapján állandó, meghatározott vízadag alkalmazása esetén nagy terméseket jelentős nitrát-kimosódás veszélye nélkül lehetetlen elérni. A kiemelkedő hozamok azonban nem feltétlenül járnak együtt a talajvíz és a talaj mélyebb rétegeinek elszennyeződésével. A modell révén adott a lehetőség olyan öntözési és műtrágyázási eljárások felhasználására, amelyekkel a két tényező közti látszólagos ellentét feloldható.

A modellt eredményesen alkalmazták a globális klímaváltozás mezőgazdasági hatásainak elemzésében (IGLESIAS et al., 1994; IGLESIAS – MINQUEZ, 1995; DELECOLLE et al., 1995; MAUTIN et al., 1995; MAKADHO, 1996; WANG – ERDA, 1996; KOVÁCS – DUNKEL, 1998; NAGY et al., 1999). A globális klímaváltozási előrejelzések egyöntetűek abban a tekintetben, hogy a hőmérséklet fokozott emelkedése a kukorica termőképességét

jelentősen csökkentheti azokban a térségekben, ahol a víz csak korlátozott mennyiségben áll rendelkezésre. A CO₂ szint emelkedése azonban bizonyos mértékben ellensúlyozhatja ezt a folyamatot. A terméscsökkenés elsősorban a lerövidülő tenyészidőszakra, illetve a rövidebb szentelítődési szakaszra vezethető vissza. A szerzők a jelenleg alkalmazott növénytermesztési technológiák helyett olyan eljárásokat javasolnak a gazdálkodóknak, amelyek a mainál korábbi vetésidőn, illetve hosszabb tenyészidejű hibridek termesztésén alapulnak. Megállapították azt is, hogy a modell futtatásához az induló nedvességtartalom, valamint a megváltozott klímaelemek sokkal precízebb ismeretére lesz szükség a jövőben, mielőtt optimális alkalmazkodási lehetőségeket javasolunk.

A 90-es évek elejétől egyre több magyar szerző munkájával is találkozhatunk a modellezési szakirodalomban (KOVÁCS et al., 1989; HUNKÁR, 1994; BACSI – HUNKÁR, 1994; KOVÁCS – NÉMETH; 1995 a, b). Az ország több pontján – elsősorban a nagy múltú tartamkísérletekhez kapcsolódva – sikeresen adaptálták a modellt. A talaj nitrát-N keletkezését, mozgását és felhalmozódását vizsgálva KOVÁCS – RITCHIE (1994); KOVÁCS et al. (1995); KOVÁCS – NÉMETH (1995a, b) megállapították, hogy a szimulációs modell becsléseivel el lehet érni a szabadföldi kísérletek terméseredményeinek és a nitrát-felhalmozódás mértékének olyan megközelítését, amely gyakorlati szempontból kielégítőnek tűnik. A modell használatát nem javasolják viszont olyan kísérleti helyszínre, ahol előzőleg még nem történt kalibrálás. A modell még fejlesztésre szorul abban a tekintetben, hogy további összehasonlító vizsgálat szükséges más tartamkísérletek szimulációival (ahol hasonló hibridek szerepeltek), mielőtt a genetikai paraméterek megbízhatóságáról nyilatkoznánk.

KOVÁCS (1995) részletes útmutatót is közöl a modell működéséről, amelyben felhasználásának eddigi tapasztalatait osztja meg az olvasóval. Az ismertető rendkívül hasznos mind az egyetemi oktatók, kutatók, mind a modellezéssel ismerkedni kívánó hallgatók számára. Hasonló elgondolással született HUZSVAI (2000a) munkája, aki a szaktanácsadásban is jól használható területeken (trágyázás, öntözés, gazdaságossági számítások stb.) mutatja be néhány gyakorlati példán keresztül a Ceres-Maize modellt is magába foglaló DSSAT számítógépes döntéstámogató rendszert.

A Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrumának kísérleti telepén beállított tartamkísérletek megfelelő háttérrel nyújtanak a modell tesztelésére. Az egyetemi kutatómunka során már több részterületen is elvégezték a validálást (HUZSVAI et al., 1995; PETŐ et al.,

1995; NAGY et al., 1994 a,b, 1995; KOVÁCS – NAGY, 1997). E publikációkban a kukorica termését meghatározó fontosabb növénytermesztési tényezők, így a műtrágyázás, az öntözés, a talajművelés és a növényszám hatásait elemezték a modell segítségével. NAGY et al. (1994 a) vizsgálatai szerint a modell minden évjáratban megközelítően jól becsli a kukorica termését, amennyiben az adott kísérleti helyre adaptálták. PETŐ et al. (1994) a tartamkísérletek eredményeinek egy nehéz értelmezési kérdését, a trágyázás és az eltérő tavaszi, kezdeti talajnedvesség hatásának elkülönítését kísérelték meg a szimulációs modellezés felhasználásával. A Ceres-Maize modell alkalmas volt az adott probléma megoldására, azaz visszaadta a növények trágyareakcióit a száraz, illetve a nedves évjáratokban, mind az eltérés irányát, mind a mértékét illetően. Számszerűen kifejezték a modell segítségével, milyen hatása lett volna az egyes trágyakezeléseknek az adott évben, ha azok azonos kezdeti feltételekről indultak volna.

HUZSVAI – NAGY (1994) a növényszám és a kukorica egységnyi területre vetített termése, illetve az egyedi produkció közti kapcsolatot elemezték két sztochasztikus, valamint a determinisztikus Ceres-Maize modell segítségével. Egyes esztendőkből, főként nagy szárazságban a vizsgált tőszám-intervallumban (60-90 ezer tő ha⁻¹) nem volt alkalmas a növényszám-termés összefüggés kimutatására, és szakmailag nem értelmezhető eredményeket kaptak a sztochasztikus függvények használatával. A determinisztikus modell alkalmazásával azonban e probléma kiküszöbölhető, nem szükséges az egész növényszám-tartományból mérési eredményekkel rendelkezünk. Megfelelő validálás után, a szimulációs program jól értelmezhető, helyes eredményeket adott a kritikus esetekben is.

A Ceres-Maize modellt CSAJBÓK (1998) a talaj vízháztartásának elemzésére használta fel. Kimutatta, hogy a modell segítségével a talaj felső, 100-140 cm-es szelvényének tavaszi nedvességtartalma elfogadható pontossággal becsülhető, ezzel szemben a betakarítás utáni talajnedvesség modellezésére a vizsgált modell nem alkalmas. Ennek oka az, hogy a modell korábbi verziói csak a biológiai érettségig szimulálták a talajnedvességet.

2.2. A növényszám összefüggése a kukorica szemtermésével, egyedi produkciójával, termésképző elemeivel

Külföldi kutatók közül HOLLIDAY (1960) kutatásai igazolták, hogy a termés és a növényszám között alapvető biológiai összefüggés van. Azoknál a növényeknél, amelyeknél a gazdaságilag hasznos termést a növény reproduktív részei (szemtermés) szolgáltatják, a termés és a növényszám összefüggése parabola függvénnyel jellemezhető. Ebbe a csoportba

tartozik a kukorica. A kukoricanövény rendszerint nagyon határozott termés-csökkenést mutat sűrű növényállománynál, és a parabolikus összefüggések egyik legextrémebb formáját reprezentálja. A másodfokú függvényvel történő közelítéssel azonban sok a probléma, mivel együtthatóinak nincs megfelelő biológiai jelentése, a függvénynek pedig nincs biológiai érvényessége, validitása. Amennyiben a hasznos termést a növény vegetatív részei adják, az összefüggés aszimptotikus (telítődési) függvényvel írható le. Ugyancsak aszimptotikus az összefüggés az összes szárazanyag-produkció (biomassza) és a növény-szám között. FARAZDAGHI (1968) azonban felhívta a figyelmet arra, hogy nagy állománysűrűség mellett a szárazanyagban kifejezett, egységnyi területre vetített összes föld feletti biomassa is csökkenhet.

A fenti biológiai összefüggéseket különböző egyenletekkel lehet leírni, melyeknek biológiai értelmezhetősége is eltérő (HUDSON, 1941; DUNCAN, 1958; SHARPE és DENT, 1968; JARVIS, 1962; NELDER, 1963; KIRA et al., 1953; SHINOZAKI és KIRA, 1956; BLEASDALE, 1963; FARAZDAGHI, 1968). Ezen egyenletek közül az egyik legismertebb DUNCAN (1958) nevéhez fűződik, aki lineáris összefüggést talált a növény-szám és a kukorica egyedi szemtermésének logaritmusá között.

Hazánkban az egyedi produkció, a szemtermés és a növény-szám közötti összefüggést GYŐRFFY (1979) tanulmányozta elsőként. Tanulmányában a HUDSON (1941) által javasolt másodfokú polinomiális egyenletet használja fel a fenti összefüggések leírására. Később a kukorica hibridek szemtermésének változását a növény-számtól függően másodfokú, az egyedi produkció logaritmusá és a növény-szám közötti kapcsolatot, Duncan-hez hasonlóan, lineáris egyenlettel jellemzik. (BERZSENYI, 1993; DANG, 1992). Ennek a módszernek az a nagy előnye (BERZSENYI et al., 1994), hogy a lineáris összefüggés kiegyenlíti az egyedi produkció kismértékű variációját és az optimális növény-szám becslésére alkalmasabb módszer, mint a másodfokú, parabolikus függvény. Az egyenlet „b” paraméterének felhasználásával kifejezhető a maximális termés eléréséhez szükséges növény-szám. Ennek segítségével, ha ismert a hibrid két sűrűség mellett mért termése, könnyen meghatározható az optimális növény-szám.

Nagyszámú publikáció foglalkozik különböző környezeti feltételek esetén a különböző korszakok hibridjeinek vizsgálatával, összehasonlító elemzésével, ill. a hibridek optimális növény-számának meghatározásával.

A hibridkukorica termesztésének 1930. évi bevezetésétől számítva a kukorica átlagtermése több mint négyszeresére növekedett az USA-ban. A növényszám és azok a hibridek, amelyek rendelkeztek azzal a genetikai potenciállal, hogy nagy termést adjanak nagy növényesűrűségnél, fontos komponensei voltak ennek a termésnövekedésnek. DUVICK (1984) igazolta, hogy a növényesűrűség fontos tényező volt az 1970-es és 1980-as években bevezetett hibridek termésnövekedésében.

PRIOR és RUSSEL (1974) azt találták, hogy a bőtermő fajtáknak széles az optimális növényesűrűsége, míg a kevésbé bőtermő, egycsövű fajtáknak szűk. Ennek oka a növényesűrűség okozta környezeti stresszhatáshoz történő alkalmazkodás, ill. a meddőségre, részleges megtermékenyülésre való hajlam növekedése.

RUSSEL (1968, 1984, 1991) vizsgálatai szerint a '40-es évek hibridjei reagáltak legnegatívabban a növényesűrűségekre, a '70-es és '80-as évek hibridjeinek reakciója pozitív volt, azonban a '80-as évek hibridjei adták a növényesűrűség növelés hatására a legnagyobb átlagos termést. Véleménye szerint a két utóbbi évtized hibridjeinek van meg az a képessége, hogy hasznosítani tudják és terméstöbblettel hálálják meg mind a N-műtrágyázást, mind a nagyobb növényesűrűségeket, így ennek a kettőnek a kumulatív hatása a termésben érvényesülhet.

TOLLENAAR (1991) az 1959-1988 közötti időszak hibridjeinek összehasonlításakor leírja, hogy a modern hibridek jobban tolerálják a nagyobb növényesűrűség okozta stresszt. Ennek oka a jobb fényhasznosításban rejlik.

A hazai növényesűrűség kísérletek, amelyeket különböző kutatóintézetekben, egyetemeken, termelési rendszerekben állítottak be az utóbbi 30-40 évben, jelentősen hozzájárultak a kukorica hibridek növényesűrűség-reakciójának megismeréséhez és a kiemelkedő terméseredményt biztosító optimális növényesűrűség meghatározásához.

Hazánkban a kukorica növényesűrűség kísérletek kezdete BERZSENYI-JANOSITS (1953) és ISO (1966) kutatómunkájához kötődik. GYŐRFFY (1976, 1979) ISO munkáját folytatva feltárta a növényesűrűség-hatás legfontosabb tényezőit és termesztési összefüggéseit. Kimutatta, hogy a kukorica hibridek növényesűrűség-optimuma az ötvenes években hektáronként 35-40 ezer, a hatvanas években 50 ezer, míg a hetvenes években 55-60 ezer volt. Megállapította, hogy az optimális növényesűrűség a termesztendő hibridtől, a táj csapadékviszonyától, a talaj vízgazdálkodásától és a tápanyagellátás szintjétől függ. Rámutatott arra is, hogy az egyik legfontosabb termésnövelési lehetőség, ha a szántóföldön termesztett növények mindegyike egyforma tenyészterülethez jut. A homogén állomány kialakításában szerepe van a jó

talajelőkészítésnek, az egyenletes vetésmélységnek, a jó víz- és tápanyagellátottságnak, a talajfertőtlenítésnek, valamint a vetőmag minőségének is.

GYÖRFFY (1979) hívta fel elsőként a figyelmet arra, hogy az egyes hibridek optimális növényszám-tartományának szélessége jelentősen eltérhet egymástól. Ennek megfelelően szűk és széles optimális növényszám-tartománnyal rendelkező hibrideket különböztetünk meg. Az elmúlt másfél évtizedben a gyakorlat az utóbbiak elterjedésének kedvezett.

RUZSÁNYI (1987, 1992a) vizsgálta a különböző sűrűségű állományok vízfogyasztását. Eredményei szerint a 80-90 ezres hektáronkénti állomány 50-70 mm-rel több vizet igényel, mint a ritkább sűrűségű. Kimutatta azt is, hogy a vízfogyasztás csak a hektáronkénti 50-60 és a 60-70 ezres állománysűrűségig növekszik, utána már jelentősen nem módosul. Az optimálisnál nagyobb tőszám esetén a kukorica a szárazságot jobban megsínyli, sok lesz a meddő tő, csökken a terméseredmény (SÁRVÁRI, 1982).

GÁNCS és RAKK (1994) hangsúlyozzák, hogy a 80-as évek első felének kedvező csapadékviszonyai, és intenzív hibridjei ösztönözték a termelőket a hektáronkénti 75-80 ezres állománysűrűség használatára. Az utóbbi aszályos évek viszont bizonyították, hogy a túl nagy növényszám csökkenti a termés biztonságát. Az újabb kutatások előnyben részesítik azokat a hibrideket, melyek termésmaximumukat alacsonyabb 55-65 ezer tő ha⁻¹-os denzitásnál érik el, és a megnövekedett tenyészterületet duplacsővűséggel hálálják meg. Ezáltal a növényállomány vízfogyasztása kisebb, és kevésbé lesz érzékeny az aszályra (SÁRVÁRI, 1995b).

GYÖRFFY (1979), BERZSENYI-VARGA (1986), CARLONE-RUSSEL (1987) kutatásai ráirányították a figyelmet a növényszám x N-műtrágyázás interakció fontosságára. NAGY (1995) bizonyította az öntözés x műtrágya, növényszám x műtrágya pozitív kapcsolatát, és felhívja a figyelmet a növényszám termesztési színvonalhoz történő megválasztására. Hasonló eredményre jutott BERZSENYI (1992, 1993) a növényszám x műtrágya x évjárat interakció vizsgálatakor. DANG (1992), DANG-BERZSENYI (1993), BERZSENYI (1992, 1994) újabb, martonvásári kutatásai szignifikáns trágyázás x növényszám interakciót mutattak ki, és igazolták az évjárat jelentős módosító hatását. Megállapították, hogy a növényszám növelése szignifikánsan csökkentette a növényenkénti szárazanyag-termelést. A növényszám hatását szignifikánsan nagyobbak találták, mint a trágyázását. Az évjárat hatását vizsgálva kimutatták, hogy a csapadékos években a szárazanyag-termelés csökkenése a növényszám növelésekor nagyobb arányú volt a trágya nélküli kezeléssel. Trágyázás nélkül a kukorica

szemtermése a csapadékos években csak 60000 tő ha⁻¹ növényszám felett csökkent szignifikánsan. Száraz évjáratban viszont a tőszám növelése már 30000 tő ha⁻¹-tól számítva sem eredményezett termésnövekedést.

A növényszám növelése az egyes terméselemeket eltérő mértékben módosítja. Legkisebb a hatása a csövenkénti szemsorok változására. STRINGFIELD és THATCHER (1947) eredményei szerint a szemsorok száma nem változott a tőszám 16300-46900 tő ha⁻¹-ra történő emelésekor. PÁSZTOR (1964) ugyancsak a szemsorok kisebb korrelációját állapította meg, de ennél erősebb a csövenkénti szemtömeggel, az ezerszemtömeggel és a csőhosszúsággal való kapcsolat.

A csőtömeg sűrítés hatására bekövetkező jelentős változására többen is rávilágítottak, azonban, mint az GYŐRFFY és I'SO (1966) kísérleteiből kiderül, a csőtömeg nem arányosan csökken a tenyészterület csökkenésével. A sűrűség 12 ezerről 24 ezer tő ha⁻¹-ra történő, tehát 100 %-os emelésekor a csőtömeg csak 25-30 %-kal csökkent. A sűrítés hatását vizsgálva LANG et al. (1956) a csőtömeg, a szemtömeg és a növényenkénti csőszám mutatók közül az utóbbival találtak szoros összefüggést.

BERZSENYI-JANOSITS (1953) tenyészterület kísérleteiben a hektáronkénti tőszám kétszeresére növelésekor (a tenyészterület 0.48 m²-ről 0.24 m²-re csökkenésekor) a csőtömeg 10-25 %-kal, az ezerszemtömeg 12 %-kal, a csőhossz pedig 11 %-kal csökkent. PINTÉR et al. (1977) ugyancsak a csőhossz változását írja le, de eltérő évjáratokban. Száraz években a termésnövekedést a csőhossz csökkenése magyarázza, csapadékos években pedig a csőhossz és az ezerszemtömeg együttes csökkenése lehet a növényszám növelésekor bekövetkező egyedi termésnövekedés oka.

COLVILLE (1962) az ezerszemtömeg csökkenéséről a következőket írja: a tőszám minden 10 ezres hektáronkénti növelésére az ezerszemtömeg 8 g csökkenést mutatott, és az összefüggés lineáris volt. 40-60 ezer tő ha⁻¹ intervallumban 9 g, 60-80 ezer tő ha⁻¹ intervallumban csak 4 g volt a csökkenés. Ugyancsak lineáris összefüggést ír le BERZSENYI (1994) az ezerszemtömeg változásáról, de hozzáteszi: ez a paraméter a környezet hatására a legkevésbé változó terméskomponens. Csapadékos évben a tőszám 20 ezer tő ha⁻¹-ról 100 ezer tő ha⁻¹-ra növelésekor az ezerszemtömeg 283.3 g-ról 232.0 g-ra csökkent, még száraz években a csökkenés erőteljesebb volt (268.4 g-ról 214.0 g-ra).

Érdekesek TETIO et al. (1988) megfigyelései. Kísérleteikben, ahol a növényesítés 0.8-15.4 növény m⁻² intervallumban változott, a legmeghatározóbb termésképző elem a szemszám

cső⁻¹, illetve a szemszám sor⁻¹ volt. Megállapításaik szerint a szemtömeg figyelmen kívül hagyható.

DUNCAN (1975) az egyes termésképző elemek közötti kapcsolatot vizsgálva negatív korrelációs kapcsolatot talált a sorok száma és a soronkénti szemszám között. DANG (1992) részletes vizsgálatok keretében tisztázta a növényszám termésképző elemekre gyakorolt hatását. Az ezerszemtömeg csökkenését (286.7 g-ról 198.7 g-ra) lineáris, míg az egyedi produkció csökkenését (264.3 g-ról 71.0 g-ra) logaritmikus összefüggéssel jellemezte a növekvő növényszám függvényében. A csövenkénti szemszám 516 db-ról 251 db-ra csökkent a növényszám növelésekor. Elemezte az évjárat hatását is és kimutatta, hogy alacsony tőszámnál (30000 tő ha⁻¹) nem volt szignifikáns különbség az eltérő években mért ezerszemtömeg között. Sűrűbb növényállományban száraz években volt jelentősebb a csökkenés, mint csapadékos években. A hibridhatást vizsgálva jelentős különbséget állapított meg az egyes genotípusok között. Megállapította azt is, hogy az évjárat és a növényszám erőteljesebb mértékben módosítja a terméselemeket, mint a többi növénytermesztési tényező.

2.3. A kukorica talajművelési módjai

A kukorica talajművelési módjainak vizsgálata a hagyományos, nagy energiaigényű eljárásoktól a talajkímélő művelési eljárásokon keresztül a direktvetésig terjed. Az előnyösnek tartott talajművelési módokról alkotott vélemények azonban időről-időre változnak mind a hazai, mind a külföldi szakirodalomban. A hazai kísérletek eredményeként megállapítható, hogy a leginkább ajánlott módszer az őszi szántás.

A 22-25 cm mélységet elérő őszi szántás előnyös hatását több szerző (GYÁRFÁS, 1925; GYŐRFFY és SZABÓ, 1979; KOVÁTS, 1974; SIPOS, 1972; GYŐRFFY, 1990; NAGY, 1996b; KISMÁNYOKY és BALÁZS, 1996) tartamkísérletekben igazolta. Megállapították, hogy mélyrétegű, jó szerkezetű és vízgazdálkodású talajokon a jelzethnél mélyebb forgatásra a költségek növekedése és a termésnövelő hatás bizonytalansága miatt nincs feltétlenül szükség.

SIPOS (1972) az őszi szántást szintén alapvetőnek tartja, aminek célját a csapadékbefogadás elősegítésében, a csapadéktárolás javításában, jó minőségű magágy megteremtésében, talajpusztulás csökkentésében, és a munkaszervezési előnyökben látja. Figyelmeztet azonban arra, hogy a mélyművelés túlzásba vitele káros, mert a termést nem, de a költségeket annál inkább növeli. Csernozjom talajon – egzakt kísérletekre hivatkozva – a 25 cm körüli mélyszántást ajánlja leginkább kukorica alá.

Tartamkísérletekben a sekélyebb termőrétegű, vagy lejtős talajokon a sekély szántással kombinált 40 cm körüli mélységű lazítás előnyei is igazolódtak (TÓTH, 1964; BELÁK, 1966; FÖRGETEG, 1964; FÖRGETEG és GYÖRGYNÉ, 1968). Ezzel a módszerrel a szokásos szántáshoz viszonyítva 4-26 %-kal növelték a kukorica termését. Szikes és javított szikes, továbbá kötött réti talajokon kedvező eredményeket adott a 60 cm mélységű lazítás tárcsázással kombinálva (SIPOS, 1963; KÁPOSZTA, 1968; PRETTENHOFFER és GRATZL, 1961). A szerzők ily módon a kukorica számára kedvezőtlen talajokon 6-30 %-kal növelték a termést.

Magyarországon a kutatók az őszi szántással szemben a tavaszi talajművelés bármely módját előnytelenebbnek tartják a kukoricatermesztésben. A hazai talajművelési szántóföldi kísérletek egyöntetűen bizonyítják, hogy a kukoricatermesztés talajművelési eljárásai közt a legkedvezőtlenebb a tavaszi szántás. SURÁNYI (1957) idejében vitatott volt, hogy tavasszal mellőzhető-e a szántás kukorica alá. A szerző mégis a tavaszi szántás mellőzését vallja, mert a tavasszal szántott talajban a kukorica kelése és kezdeti fejlődése jobb, azonban a talaj lényeges víztartalom csökkenése miatt a kukorica vízhiánya a száraz évjáratban erősebb lesz.

Míg HEGEDŰS (1984) négyéves kísérlete alapján a különböző művelésmódok közül az őszi szántás bizonyult a legjobbnak, addig KÁPOSZTA (1968-74) Karcagon beállított kísérletei alapján az őszi, illetve a tavaszi szántás termésre gyakorolt hatásában nem tapasztalt szignifikáns különbséget. GYÖRFFY-SZABÓ (1968) vizsgálatai szerint a tárcsás talaj-előkészítésben a szántott területekhez képest a terméseredmények az évek többségében szignifikánsan kisebbnek bizonyultak.

Az ősszel elmaradt szántás helyett ne végezzük az alapművelést tavasszal ekével, figyelmeztet KRISZTIÁN (1992), aki szerint erre a műveletre alkalmasabb eszközök a tárcsás boronák, nehéz kultivátorok, talajmarók. Minél nagyobb a talaj agyagtartalma, annál erősebben kenődik, rögződik és kiszáradása után nem készíthető optimális állapotú magágy tavaszi szántás esetén. Az alapozó művelés erőteljes rögződése megbízhatóan jelzi a gazdának, hogy a talaja korábban tömődött, kondíciója romlott.

DRIMBA és NAGY (1998) az őszi szántással végzett alapművelés, a tavaszi szántás és a szántás nélküli művelések eredményét összehasonlítva megállapítja, hogy a kukoricatermesztő akkor termeszthet a legkisebb kockázattal, ha a termesztésre alkalmas terület legnagyobb részén őszi szántást alkalmaz tavaszi szántás vagy szántás nélküli művelés helyett.

NAGY (1996b) kutatási eredményei mély termőrétegű vályogtalajon az őszi szántás megbízható terméstöbbletét bizonyítják a tavaszi forgatás nélküli, sekély műveléshez képest. A tavasszal végzett sekély forgatás nélküli alpművelés a kedvezőtlenebb tavaszi szántás helyett egy-egy évben választható szükségmegoldásnak értékelendő (BIRKÁS, 1998).

HEGEDŰS (1984) kukorica monokultúrában végzett talajművelési vizsgálatai szerint négy év átlagában az őszi szántás esetén volt legnagyobb a termés, a tavaszi talajmaró és tavaszi tárcsázás 10 %-kal, míg a tavaszi szántás 13.6 %-kal csökkentette a termést. A talajművelési eljárások közül a tárcsás művelést tartják költségtakarékos volta ellenére legkevésbé alkalmas módszernek.

FENYVES (1997) öt talajművelési módot hasonlít össze (direkt vetés, tárcsázás 16-20 cm, szántás 22-25 cm, középmély lazítás 35-40 cm és tárcsa 16-20 cm, középmély lazítás 35-40 cm és szántás 22-25 cm) és megállapítja, hogy a kukorica számára a szántásos és lazításos kezelések bizonyultak a legkedvezőbbnek. A tárcsázást különösen aszályos években ítélte kerülendőnek.

SIPOS és HEGEDŰS (1982) az őszi talajművelés elmaradása esetén a vetés előtti talajmaró használatát javasolják kötött és közepkötött talajon. Talajművelési kísérletük alapján legelőnyösebbnek a 30 cm mély őszi szántást, majd a vetés előtti 15 cm mélységben végzett talajmaró használatát, ezután a 15 cm-es tavaszi tárcsázást és legkedvezőtlenebbnek a 20-22 cm mélységű tavaszi szántást ítélték.

GYÖRFFY (1976) martonvásári, vályog mechanikai összetételű mezőségi talajon végzett többtényezős kukoricakísérletek eredményei szerint a talajművelés termésére gyakorolt hatása lényegesen csekélyebb, mint a műtrágyázásé. A két tényező összefüggései arra utaltak, hogy a műtrágyaadagok növelésével párhuzamosan csökken a különbség a kukorica termésében, a talajművelés módjától függően. GYÖRFFY-SZABÓ (1979) a művelés mélységének, a műveletek számának értékelését műtrágyakezeléssel egészítették ki. A kísérletek bizonyították, hogy a műtrágyázás a talajművelési módok hatását kiegyenlíti vagy csökkenti. Felhívták továbbá a figyelmet a jó vízgazdálkodású csernozjom talajon a téli félév csapadékának a jelentőségére, amely a talajművelési változatok hatását elfedheti. A talajművelések mélységét és a trágyázás kölcsönhatását vizsgálva a kukoricánál a két tényező pozitív kölcsönhatását állapította meg SIPOS (1968), amely közül a trágyázás hatása volt a meghatározó. A száraz évszázad a két tényező kölcsönhatását módosította.

VAJDAI (1991) szoros összefüggést talált a talajművelés módja, eszközei, továbbá a talajnedvesség megőrzése és a termés hozamok nagysága között. Az utóbbi évek száraz időjárási viszonyai arra kényszerítették a gazdákat, hogy a talajban lévő nedvességet minél nagyobb mértékben őrizzék meg, illetve minél nagyobb hatékonysággal hasznosítsák. Így energia és víztakarékos talajelőkészítési módszerek alkalmazását célozzák meg, de emellett figyelembe kell venni a termesztésre kerülő növény igényeit is. Az egyes forgatás nélküli eszközökkel –nehéztárcsa, nehézkultivátor, közép mély lazítók– művelési mélységtől függően 6-14 mm talajnedvesség takarítható meg a szántáshoz viszonyítva. Ez a nedvesség megfelel egy kiadós csapadéknak.

Az utóbbi években egyre inkább előtérbe kerültek az idő- és energiatakarékos eljárások kidolgozására irányuló törekvések. Napjainkra is érvényes ez a szemlélet, mivel az idő- és energiatakarékosság mellett egyre elterjedtebbek a környezet kímélését és tehermentesítését célzó eljárások. Hazai körülmények között azonban a kukorica talajművelésének talajkímélő módjai még meglehetősen kidolgozatlanok, hagyománnyal nem rendelkezünk.

A talajkímélő növénytermesztés szélsőséges módja a talajművelés nélküli növénytermesztés, amelynek feltétele a direktvetőgépek alkalmazása és a jó minőségben elvégzett vegyszeres gyomirtás. A direktvetés első alkalmazása a hazai kísérletekben az őszi mélyszántáshoz viszonyítva kedvezőtlenebbnek bizonyult (SIPOS, 1972; GYÖRFFY és SZABÓ, 1979; SIPOS, 1968; GYÖRFFY és SZABÓ, 1968; SIPOS és HEGEDŰS, 1982). A sikertelenségben a szűk eszközválaszték ellenére közrejátszhatott az is, hogy, az olcsó energia és a hagyomány tisztelete miatt ezek az energiatakarékos eljárások akkor még nem terjedhettek el. A direktvetéses technológiák alkalmazási feltételeinek és hazai adaptációjának kidolgozása a jelen és a közeljövő sokat ígérő feladata. BIRKÁS (1998) szerint a direktvetést Magyarországon 3-5 évig célszerű folyamatosan alkalmazni a deflációs károk által sújtott területeken, a vonatkozó technológia pontos betartása mellett.

BOCZ et al. (1996) SIPOS (1972) kutatásait alapul véve az időnkénti mélyművelést javasolják, amit periodikus mélyművelési rendszerben ajánlanak megvalósítani: 3-5 évenként 30-35 cm-es szántást, 40-45 cm-es mélylazítást, a közbenső években pedig a kukorica számára elegendőnek tartják a 20-28 cm-es szántást.

A vetést megelőző év őszen végzett mélyszántás szükségességét többen kétségbe vonják. Egyre több olyan talajművelési rendszer kidolgozása lát napvilágot, melyekben a talaj fizikai állapotába történő beavatkozás csak a magágykészítésre korlátozódik, vagy még ezt is

elhagyva, művelés nélküli direktvetést alkalmaznak. Az USA-ban alkalmazott, szántás nélküli kukoricatermesztési módok kidolgozása a legelőrehaladottabb ebből a szempontból.

A hagyományos talajművelés, a csökkentett talajművelés (reduced till) és a no-till összehasonlítása sok nemzetközi publikációnak a tárgya, leginkább az USA Corn Belt övezetére és az attól keletre eső területre vonatkoznak ezek a vizsgálatok (SIMS et al., 1998). A csökkentett talajműveléses és direktvetéses kukoricatermesztés a nemzetközi szakirodalomban több évtizedes múltra tekint vissza. Általában a no-till művelések eredményét kedvezőbbnek tartják, mint a hagyományos vagy a csökkentett talajművelését (BLEVINS et al., 1971; MEISINGER et al., 1985).

A talajművelés nélküli és a hagyományos talajművelés összehasonlításánál a vetés körüli hőmérséklet módosíthatja a művelések hatását. SIMS et al. (1998) felhívják a figyelmet arra, hogy tavasszal, alacsony hőmérséklet esetén, a hagyományos talajművelés a no-till műveléshez képest elősegíti a talaj gyorsabb felmelegedését, ami sokkal kedvezőbb feltételeket teremt a növények korai fejlődéséhez. Értékelni kell a növényrendet is, mint befolyásoló tényezőt. RAIMBAULT és VYN (1991) megállapítja, hogy a minimum tillage kevesebb termést adott, azonban a különbség eltüntethető a monokultúra feloldásával. BANDEL és FOX (1984), MACKAY et al. (1987) kutatásai szerint a tápanyagok eloszlása különbözik a talajművelés módjától függően. Kísérletében a P és a K a no-till kezeléseknél a talaj felső, 0-5 cm-es rétegében koncentrált, ez azonban nem bizonyult gyökérnövekedést gátló vagy termés-csökkentő tényezőnek.

GUPTA et al. (1988) javasolják, hogy no-till művelésnél a lassúbb talaj-felmelegedés miatt csökkentsük a vetés mélységét. HERBECK et al. (1986) lassan felmelegedő talajokon későbbi vetésidőt ajánlanak direktvetés esetén, mint a hagyományos talajművelésnél. A talajművelési mód megválasztásánál figyelemmel kell lenni a talajtípusra és a csapadékviszonyokra is. GRIFFITH et al. (1973) szerint nedves talajon a kelés és korai fejlődés a lassú felmelegedés miatt késhet, ezért a művelés nélküli termesztés – különösen csapadékos körülmények között – főleg a jó vízvezető képességű, könnyen felmelegedő talajokon ajánlott.

A tarlómaradványok minősége és mennyisége hatással van az alkalmazandó talajművelési módra és a talaj vízforgalmára. A no-till termesztéskor a felszínen maradó tarlómaradványok elősegítik a talajnedvesség megőrzését és csökkentik a talajhőmérsékletet (BENNETT et al., 1973; BLEVINS et al., 1971; BURROWS és LARSON, 1962; JOHNSON és LOWERY, 1985; VAN WIJK et al., 1959). A tarlómaradványok felszínen hagyása mérsékli a talaj

kiszáradását és védi a talaj felső rétegét, a vetési munkát viszont gátolja. No-till és tárcsás talajművelés esetén BURGESS et al. (1996) szerint a sok felszíni tarlómaradvány késleltette, vagy részben gátolta a kelést és alacsonyabb termést eredményezett. Ezért, hogy elkerüljük a vastag tarlómaradvány-rétegen keresztüli vetés problémáját, a vetés körülményeire és a vetőgép munkájára különösen nagy figyelmet kell fordítani. A csökkentett talajművelés és a no-till művelés alkalmazásának egyik feltétele a tarlómaradványok mennyiségének szabályozása. A megfelelő növényi sorrend összeállításával megelőzhető a felszíni növénymaradványok túlzott felhalmozódása (BURGESS et al., 1996). Kutatási eredmények arra engednek következtetni, hogy sokszor csökkentett talajművelési eljárások alkalmazása esetén nem a sekély művelési mélység, hanem a sok tarlómaradvány okozta egyenetlen vetés miatt csökken a termés. SWAN et al. (1993) felhívják a figyelmet arra, hogy a tarlómaradványok miatti egyenetlen vetésmélység egyenetlen növényállományhoz vezet. FORTIN (1993) a tarlómaradványok hatására jelentős változásokat tapasztalt a vegetációs időszak alatt a talajhőmérséklet alakulásában, a talajnedvességben, a fejlődés ütemében, a növénymagasságban, a szemtermést azonban nem befolyásolta a tarlómaradványok megléte vagy hiánya.

SZIRTES és GÁL (1978) kutatásai szerint a talaj pórustérfogata befolyásolja a kelést és a műtrágyák érvényesülését. Javasolják az intenzív tápanyagfelvételi zónában (0-30 cm) az 52 % összporozitást, ami a kukorica talajművelésénél optimális értéket jelent. A no-till művelés talajtömörítő hatásának feloldására a néhány évenkénti hagyományos művelés alkalmazását ajánlják. Az őszi szántás, a kultivátoros művelés, a tavaszi szántás és a no-till művelés talajszerkezetre gyakorolt hatását vizsgálta VYN és RAIMBAULT (1993) 15 éves tartamkísérletben. Megállapították, hogy a no-till művelés eredményezte az 5 mm-nél kisebb átmérőjű talajaggregátumok legalacsonyabb arányát, a legnagyobb talajsűrűséget és a legnagyobb penetrométer-ellenállás értékeket. A kukorica talajállapottal szembeni igényének kvantitatív jellemzése mind a talajművelő eszközök kifejlesztőinek, mind a kutatóknak és növénytermesztőknek biztos támpontot nyújt a korábbi leíró módszerekkel összehasonlítva.

Bármelyik talajművelést is választjuk a termesztéstechnológiában a biztonságos és kellően magas termés elérésének előfeltétele a talajművelési eljárások megfelelő színvonalú elvégzése. Az optimálisan megválasztott talajművelésnél is elmaradnak a várt eredmények, ha azt nem kellő odafigyeléssel végezzük.

2.4. A műtrágyázás hatása a kukorica termésére és terméskomponenseire

A műtrágyázás a növénytermesztés tényezői közül a legfontosabbak közé tartozik. NAGY (1995) a kukorica termésének kialakításában résztvevő növénytermesztési tényezők egy részét vizsgálva a következő sorrendet állítja fel: műtrágyázás 48 %, öntözés 28 %, talajművelés 18 %, növényszám 6 %. Más kutatók véleménye szerint is kiemelkedő szerepet foglal el a műtrágyázás az agrotechnikai beavatkozások között.

BERZSENYI és GYÖRFFY (1995) 35 éves tartamkísérlet kiértékelése során a növénytermesztési tényezők közül a legfontosabb termésnövelő tényezőnek a trágyázást (30.7 %) és a genotípust (30 %) találták, ezt követte az optimális növényszám (20.3 %), a gondos növényápolás (16.3 %), majd a talajművelés (2.7 %). A szerzők szerint a műtrágyázás hatását egzakt módon szántóföldi kísérletekben lehet vizsgálni. Határozott trágyahatás-növekedést mutattak ki tartamkísérletben, ami a trágyázás jelentőségének növekedésére hívja fel a figyelmet.

BOCZ (1976) megállapítja, hogy Magyarországon a terméseredmények növekedése az 1960-as és 1970-es évek első felében nagyrészt a műtrágyák nagyobb mértékű felhasználásának köszönhető, amellyel párhuzamosan az agrotechnika számos tényezőjének a növekedése is együtt járt. A kukorica – a korai vizsgálatok tanúsága szerint – kevésbé hálálta meg a tápanyag-utánpótlást, mint a többi gabonaféle, de később a huzamosabb műtrágyahasználatnak köszönhetően a műtrágya-tápanyagok érvényesülése erőteljesen javult.

Mind a hazai, mind a külföldi szakirodalmak megegyeznek abban, hogy a műtrágyahatást befolyásoló tényezők közül a legmeghatározóbbak az időjárás, a talajtulajdonságok, az elővetemény, a vízellátás, a talajművelés, a növényállomány kiegyenlítetttsége, a termesztett növény, illetve fajta tápanyag-reakciója. Az időjárás – mivel szabályozza a termőhely hő- és vízellátottságát – hatással van a talaj anyagforgalmára, a növények növekedésére, tápanyagfelvételére, így a trágya érvényesülésére is (BOCZ, 1976; SZÁSZ, 1988; KOVÁCS, 1982; LÁNG et al., 1983; JOLÁNKAI, 1982, 1993; FILEP, 1988; NAGY, 1988; SZABÓ, 1990; ÁNGYÁN, 1991; HOLLÓ, 1993; RUZSÁNYI-PETŐ, 1993; HALL et al., 1994).

BOCZ (1976) szerint a műtrágyák hatóanyagainak hasznosulásánál, elsősorban a nitrogén esetén, a vízellátottság játszik kiemelkedő szerepet. A növény vízellátottsága pedig adott csapadékmennyiség mellett az alkalmazott agrotechnika, vetésforgó és tőszám függvénye. LÁNG (1966) a Sarkadi által elvégzett 30 műtrágyázási kísérlet eredményének összefoglalása alapján szintén a N hatását ítéli meghatározónak a kukorica trágyázásában.

BOCZ és NAGY (1981) arra hívják fel a figyelmet, hogy a kukorica víz- és tápanyag-ellátottságának összhangban kell lennie, és a szervesanyag-produkciót illetően alapvetően fontosnak tartják a tenyészidőszakot megelőző év vízellátottságát. A termésbecslést a műtrágyázás és a vízellátottság interakciója miatt, víz- és tápanyag-ellátottsági szintenként külön-külön célszerű meghatározni.

Amíg BOCZ (1976) a csapadék és termés összefüggését vizsgálva száraz években a műtrágyázás termésdepressziót okozó hatását bizonyította, addig PROKSZÁNÉ et al. (1995) réti öntés talajon beállított kísérletükben száraz évben még 200 kg ha^{-1} N adag esetén sem tapasztaltak termés-csökkenést. Kedvező csapadék-ellátottságú esztendőben viszont 100 kg ha^{-1} N szinten felül szignifikáns termésnövekedést már nem mutattak ki.

A csapadékmennyiség, illetve a talajban tárolt nedvességkészlet a trágyaszükségletet és a trágyahatást is módosítja. A trágyahatás az optimális vízellátáshoz közeledve növekszik, majd a káros víztöbblet beálltával csökken (BOCZ, 1976; DEBRECZENI – DEBRECZENINÉ, 1983; RUZSÁNYI, 1992b). Az elővetemény közvetlenül csökkentheti vagy gazdagíthatja a talaj víz- és tápanyagkészletét, és egyéb hatásai (a gyomosodás mértéke) révén a trágyahatást is módosítja (KEMENESY, 1972; KÖNNECKE, 1969; KOVÁTS, 1974; LÁNG, 1976; GYŐRFFY, 1976; GYŐRFFY – BERZSENYI, 1992).

HUZSVAI (2000b) a tápanyag és a vízellátottság közötti kölcsönhatás vizsgálatával kapcsolatban megállapítja, hogy a két tényező közti igazolt pozitív kölcsönhatás nemcsak a két agrotechnikai beavatkozás egyidejű növelését, hanem ezek egyirányú csökkentését is jelenti. Ha romlik a vízellátottság, a tápanyag-utánpótlást is mérsékelni kell.

A kukorica gyökerei az ökológiai viszonyoktól függően függőlegesen 200 cm-re, vízszintesen 70-100 cm távolságra is lehatolnak (MENYHÉRT, 1985). A táplálkozásban a legnagyobb szerepe a felső 30 cm-es szántott rétegnek van, amelyet a talaj tápelem-ellátottságának megítélésénél érdemes figyelembe venni (BÚZÁS, 1987). A talaj mélyebb rétegeinek tápanyag-vizsgálata tájékoztat a trágyaanyagok bemosódásáról és a tartamkísérletek mélyebb rétegeket érintő hatásáról. A talajban a túlzott $\text{NO}_3\text{-N}$ maradvány a termeszto szempontjából gazdaságtalanságot jelez és növeli a N talajvízbe történő bemosódásának veszélyét. A legsikeresebb nitrogéntrágyázási gyakorlatnak az tekinthető, amelynek eredményeként a talajszelvényben maradó $\text{NO}_3\text{-N}$ tartalom minimális a betakarítás utáni időszakban. A kiadott N műtrágya hatóanyagtartalmának csak 50 %-a jelenik meg a

termésben, míg a maradék 50 % kimosódik, a denitrifikálódik és/vagy egyéb módon alakul át (KAVLEN et al., 1998).

DEBRECZENINÉ (1989) szerint a műtrágyákból a nitrogén 50-60 %-a hasznosul. A téli, csapadékos időszakban az őszi nagy adagú N-műtrágyázás után a N-veszteség oka elsősorban a talaj mélyebb rétegeiben felhalmozódó nitrogén (NO_3). Mérsékelt N-műtrágya adagoknál (100 kg ha⁻¹-ig) a nitrát lemosódása nem számottevő, a nagyobb nitrogén-adagok alkalmazásakor azonban a NO_3 lemosódás – különösen öntözés esetén – jelentős (RUZSÁNYI, 1992b). NÉMETH és BÚZÁS (1991) humuszos homoktalajban 200-260 cm-es mélységben nagy mennyiségű NO_3 -N-t találtak. A talaj mélyebb rétegének NO_3 -N vizsgálatára hívja fel a figyelmet RUZSÁNYI (1992b) is.

A kukorica vízhasznosítása és tápanyagellátottsága közötti kapcsolatot vizsgálva KOVÁCS (1982) megállapítja, hogy túlzott csapadékelátottság hatására a talajok szerves nitrogénjének jelentős része a mélyebb rétegekbe mosódik le a vegetációs időszakban, s így kritikusan alacsony ásványi nitrogénszint alakul ki. A tartós nitrogénhiány növekedési depressziót, élettani stresszreakciót vált ki, emellett megnövekszik a vízfogyasztás, a talaj kiszárad, és megfelelő vízutánpótlás hiányában szárazsági tünetek jelentkeznek.

A kísérletek többsége szerint mérsékeltén száraz évben közepes vagy jó a műtrágyahatás, és ilyen körülmények között a P-, K-ellátás jelentősége nagy, mert csökken a vízhiány-stressz. Aszály esetén az egyedfejlődés első szakaszában jól fejlődik a növény, a második felében a nagy LAI, valamint a fokozott vízigény miatt súlyos vízhiánytól szenved a kukorica, aminek jelentős terméseszkücsökkenés a következménye (GYÓRFFY, 1965; DEBRECZENI-DEBRECZENINÉ, 1983; RUZSÁNYI, 1992a).

Az optimális N-ellátás jelentősen befolyásolja a csövenkénti szemszámot, az ezerszemtömeg növekedéséhez viszont kismértékben járul hozzá (BOCZ – NAGY, 1981). N-hiány esetében azonban kicsi a kukorica növényben a szárazanyag akkumuláció és lassú a szárazanyag felhalmozódás dinamikája (GYÓRFFY, 1965; HANWAY – RUSSEL, 1969; BERZSENYI, 1993). A műtrágyázás meghatározó mind a makro-, mind a mikroelem-ellátottság esetében (NÉMETH – BÚZÁS, 1991; KISMÁNYOKY – HOFFMANN, 1993).

Megfelelő N-ellátással elősegíthető a kukorica levélterületének kezdeti gyors növekedése, és ezáltal hosszabb ideig fenntartható az optimális LAI érték, a biomassa tartóssága, ami az asszimilátáknak a szemtermésbe történő áramlása szempontjából jelent előnyt és a harvest-index értékét illetően is kedvező (ANDERSON et al., 1985; BERZSENYI, 1988, 1993). Ez az

előny azonban szárazságban nem jelent gazdasági hasznot, mert a kukorica már korábban vízhiánytól szenved, amely a reprodukív szakaszban tetőzik, következésképpen termés-csökkenéssel jár együtt (RUZSÁNYI, 1973, 1981).

Külföldi kutatók, így KUDZIN et al. (1976) is felhívták a figyelmet arra, hogy a műtrágyaadagok meghatározását az egyes kukorica hibridek igényeinek figyelembe vételével kell végezni. Kísérleteikben a hibridek közötti műtrágyahatás-különbség 4.6-27.4 % között változott. BALKO – RUSSEL (1980) javasolják, hogy a hibridek összehasonlítását a legnagyobb termést biztosító műtrágyaadagok esetén kell elvégezni. Ezzel szemben SÁRVÁRI (1984) és NAGY (1984) szerint a hibrideket többlépcsős műtrágyázási kísérletekben lehet jól összehasonlítani. A műtrágyázás nélküli parcellák eredményei jól mutatják a hibridek természetes tápanyagfeltárási képességét.

MENYHÉRT et al. (1980) szerint a tápanyag-ellátottság és a növényszám között is szoros összefüggés van. A műtrágyák jó hasznosulásához legfontosabb a megfelelő tőszám alkalmazása (DUNCAN, 1975; VOLDENG – BLACKMAN, 1974; KÁPOSZTA, 1969; BODNÁR, 1987; MENYHÉRT, 1985). LŐRINCZ et al. (1981) pedig megállapították, hogy tartós, váltás nélküli termesztés esetén a műtrágya-hasznosulás csökken.

2.5. A kukorica levélterület-indexének összefüggése a növénytermesztési tényezőkkel

A külföldi és hazai irodalom régóta foglalkozik a kukorica levélterület-indexének vizsgálatával. Ennek kapcsán igyekeznek megállapítani azt, hogy milyen tényezők hatnak a levélterület növekedésére és annak nagyságára, illetve változásának dinamikájára a tenyészidőszak folyamán.

A levél az a növényi szerv, amelyben az asszimilációs folyamatok zajlanak. Ezen folyamatok termékei a generatív szervekbe vándorolva a produkció alapját jelentik és meghatározzák annak nagyságát is. WATSON (1946) már egy korai írásában azt a szemléletét fejezi ki, hogy meghatározott levélterület, állomány szinten pedig levélterület-index (LAI) kell ahhoz, hogy a kukorica magas termést produkáljon. A fotoszintetikus aktivitással együtt szintén a levélterületet tartja a legfontosabb tényezőnek a szemtermés kialakulása során. WATSON (1956) és SINCLAIR (1984) szerint a levélterület nagysága nagyon fontos annak meghatározásában, hogy a növény a napsugárzásnak hány százalékát tudja elnyelni, hiszen a továbbiakban ez határozza meg a növény növekedését és végül a termést. Magyar kutatók is felismerték a levélterület szerepét és több közlemény is utal a korábbi évekből arra, hogy a

biomassza és a levélfelület között szoros az összefüggés (PRÉCSÉNYI et al., 1976; BÁLINT, 1977; MENYHÉRT, 1980).

A kukorica levélfelületének tanulmányozása azért fontos, mert a kukorica szemtermése korrelál a teljes levélfelülettel és a levélfelület disztribúciójával (JOHNSON, 1973; PALMER et al., 1973). A kukoricánál a levélfelület-index (LAI), fényelnyelés, illetve produktivitás kapcsolatát számos dolgozatban elemezték (HANWAY, 1962; EIK – HANWAY, 1965; ALLISON, 1969; NUÑEZ – CAMPRATH, 1969; NÖSBERGER, 1971; MENYHÉRT et al., 1980). Ezek az ismeretek fontos támpontokat adnak a megfelelő hibrid (genotípus), állománysűrűség, valamint tápanyag- és vízellátottság megválasztásához.

RUZSÁNYI (1974) szerint a kukoricaállomány levélfelületének nagysága különböző műtrágyaadagok hatására csak minimális eltérést mutatott. Megállapította ugyanakkor, hogy a növényállományok vízfogyasztásának változása a levélfelület-index módosulásával áll szoros kapcsolatban. A trágyázás, amellyel, hogy módosítja a növényállomány levélfelületét, igazolhatóan növeli a vízfogyasztást is.

BONCIARELLI – MONATTI (1975) megállapították, hogy a késői hibridek levélfelület-indexe a vegetatív növekedés és a szemképződés idején nagyobb volt, mint a koraiaké. A egyedfejlődési szakaszokat vizsgálva GAY – MÉNÉTRIER (1980) pedig azt figyelték meg, hogy a fejlődési szakaszok változása szorosan összefügg az ezen szakaszokban látható levelek számával.

A levélfelület egyben jelentős párologtató felület is. Túlsűrítés okozta levélfelület-index növekedés következtében állományszinten annyira megnőhet evapotranszpiráció, hogy kedvezőtlen, aszályos években a termés jelentősen csökkenhet (SZALÓKI, 1988). PETROSOVITS és BALOGH (1975) arról ír, hogy a legszorosabb kapcsolatot a levél felülete mutatta evapotranszpirációval, a LAI pedig nagymértékben összefügg a termésmennyiséggel.

EIK és HANWAY (1966) lineáris összefüggést mutatott ki az egyedi produkció ($g\text{ növény}^{-1}$) és a LAI között. A termés/LAI arány értéke akkor jó, ha magas. A hibridek között jelentős különbség van e téren.

A LAI maximális terméshez tartozó értékével sokan foglalkoztak. BROWN et al. (1970) mérései alapján mindig megközelítően azonos, LAI = 3.5 érték esetén kapták a legnagyobb termést. Magyarországon a maximális terméshez tartozó LAI értéke 4.1-5.9 között változott (MENYHÉRT et al., 1980; BERZSENYI, 1989).

WINTER és OHLROGGE (1973) eltérő levélállású hibrideket hasonlítottak össze. Megállapították, hogy a vertikális típusok termése $LAI = 3-4$ érték esetén kisebb volt, mint a horizontális levélállású hibrideké, míg $LAI = 5$ vagy ennél nagyobb értéknél a vertikális típusok szemtermése volt nagyobb. Az újabb nemesítésű hibrideknél kifejezettebb az előny a vertikális típusok javára. DANG és WU (1993) mérései alapján az erectus genotípusok termésmaximuma $9 \text{ t} \text{ m}^{-2}$ és $LAI = 6$ érték mellett van. A horizontális levélállású típusok esetében a legnagyobb termést $4.5 \text{ t} \text{ m}^{-2}$ és $LAI = 4$ mellett kapták.

GIRARDID és TOLLENAAR (1994) egy jól sűrítendő hibridet (P 3902) vizsgáltak, és arra kerestek választ, hogy milyen módon változik állománysűrítés hatására a levélállás. Növekvő sűrítés hatására a növény felső levelei a legtöbb esetben inkább merőlegesen helyezkedtek el. Alulról felfelé haladva a levelek állásszöge minden sűrűségnél változott azért, hogy a növény minél jobban hasznosítsa a napenergiát.

A kukorica levelei a szemtermés kialakításában nem azonos mértékben vesznek részt, ugyanis a címervirágzat felé haladva a cső feletti levelek szerepe fokozottabb, mint a cső alatt lévőké (PINTÉR et al., 1977). Sűrítés hatására a növényenkénti szemtermés nem arányosan csökkent a levélterület változásával. Az eredeti levélterület 82-84 %-os csökkenése a szemtermés 40-49 %-os csökkenését okozta.

BERZSENYI (1989) azt vizsgálta, hogy a növényesség hogyan hat a levélterület-index (LAI) szezondinamikájára. Megállapította, hogy a növekvő egyedszám hatására a növényenkénti maximális levélterület csökkent, a LAI maximális értékei viszont lineárisan emelkedtek.

A levélterületi index (LAI) legnagyobb értéke – a LA-val ellentétben – maximális növényesszámnál van. Szezonális dinamikája az egyedi levélterülettel megegyezően a virágzásig szigmoid görbével jellemezhető, majd utána csökken. Növényesszámtól függően a LAI_{max} értéke 2.13-5.46 között alakult. A növényesség és a LAI között lineáris kapcsolat áll fenn (DANG, 1992).

Az állomány sűrítésével addig növelhető a termés nagysága, amíg az állomány fénymegkötése növekszik sűrítéssel (KAVLEN és CAMP, 1985). A növényállomány a denzitás növekedésére önárnyékolással válaszol. HASHEMI et al. (1992) mesterséges árnyékolási kísérleteiben a következő megállapítást tették: az árnyékolás hatására csökken a sejtek klorofill-tartalma, és csökken a fotoszintetikusan aktív fény aránya (PAR), aminek az lesz az eredménye, hogy csökken a fotoszintézis mértéke is, a levelek kevesebb tápanyagot

szolgáltatnak a szemtelítődés időszakában, kisebb számszám fejlődik ki a csövön, amely súlyosabb esetben a meddőség kialakulásához vezet.

Az eddigiek alapján megállapítható, hogy a kukoricaállomány sűrűségének növelésével a LAI értéke emelkedik, de a szemtermés csak egy meghatározott levélterület nagyságig nő. Ennek az az egyik oka, hogy a LAI növekedésével a levelek által abszorbeált napenergia aránya emelkedik, de ha a LAI értéke nagyobb mint 4, akkor lényegesen csökken a napfény behatolása a normál levélzet mélységébe (WILLIAMS et al., 1968). Ha a napfény eloszlása egyenletesebb lenne a levélállás megváltoztatása révén, akkor a termés tovább emelkedhetne a LAI növekedésével, például ha a levelek orientáltságukat tekintve vertikálisabbá válnának (ANDERSON, 1966; DUNCAN et al., 1967).

Nagy munkaidő szükséglete miatt a levélfelület meghatározása, és a levél szabálytalan alakjának leírása a növényfenológia egyik fontos problémája. A levélzet kvantitatív meghatározásakor MONTGOMERY (1911) kukoricánövénnyen végzett korrelációs vizsgálatai szolgálnak alapul mind a mai napig. MONTGOMERY a kukorica levélfelületének kiszámítására az $F = 0.75 \times h \times sz_m$ képletet ajánlja, amelyben F a levélfelülete, h a levél hosszúsága, sz_m pedig a levél maximális szélessége.

MONTGOMERY publikációja óta sokan foglalkoztak a levélfelület minél gyorsabb és pontosabb módszereinek kidolgozásával. PINTÉR (1979) tanulmányozta a kukorica levélfelületének gyors meghatározási lehetőségeit. Vizsgálatai eredményeként megállapítja, hogy a levélfelület egyedenként egy levélből történő meghatározása helyett célszerű a MONTGOMERY-képlettel meghatározni a levélfelületet, mert így ugyanolyan pontosság eléréséhez kevesebb mérésre van szükség. PINTÉR (1979) szerint MONTGOMERY-képletét alkalmazva, már 9 növényen végzett méréssel, megbízható különbségek határozhatók meg a genotípusok között, de nem javasolja 15 növényenél többnek megmérni a levélfelületét.

A gyorsaság növelés céljából növényenként egy levélből is meg lehet határozni a teljes levélfelületet. FRANCIS et al. (1969) és PEARCE et al. (1975) is ezt a módszert alkalmazták. Az egy levélből meghatározott levélfelület értéket több tényező is módosítja, ami a módszer pontosságát kérdőjelezi meg. FRANCIS et al. (1969) a meghatározott levélfelület értéket évjáráttól, sűrűségtől, és genotípustól függőnek tartja.

Hazai körülmények között ANDA (1986) hasonlította össze a kukorica levélfelületének meghatározására alkalmas módszereket. Megállapította, hogy a planiméter a legpontosabb, de

a műszer hiányakor a MONTGOMERY-képletet tartja jónak, amely a második legjobb módszernek bizonyult.

2.6. A kukorica szárazanyag-gyarapodása és kapcsolata a növénytermesztési tényezőkkel

A kukoricánövény szárazanyag-produkcióját és a szárazanyag növényi részek közötti disztribúcióját elemző dolgozatokban leggyakrabban a különböző érésidőjű kukorica hibridek (genotípusok), ritkábban beltenyésztett vonalaik szárazanyag-akkumulációját hasonlították össze (HANWAY – RUSSEL, 1969; ALLISON, 1969; STAMP, 1987). Kevesebb azoknak a közleményeknek a száma, amelyekben a szárazanyag-akkumuláció vizsgálata a teljes növekedési időszakra kiterjedt, illetve amelyek részletes növekedésanalízist is magukba foglaltak (ALLISON, 1969; BONCIARELLI – MONATTI, 1975; PRÉCSÉNYI et al., 1976).

LÁSZTITY et al. (1985) szerint csernozjom jellegű homoktalajon beállított szabadföldi trágyázási kísérletben, eltérő P és K ellátottságnál a kukorica szárazanyag-gyarapodása a tenyészidőszakban folyamatos és maximumát teljes éréskor éri el. A virágzást követően mérték a szárazanyag gyarapodás ütemének maximumát, amikor a növény 2-3 hét alatt a teljes mennyiség mintegy 30-35 %-át halmozta fel. A generatív időszakban építette be szervezetébe az összes mennyiség felét.

DEBRECZENI B.NÉ (1985) megállapítása szerint a kukorica szárazanyag tömegének gyarapodása a fotoszintetizáló szervek kialakulását követően, meredeken ível fölfelé. Augusztus elején éri el a szárazanyag termelésének csúcsát.

HUQ (1983) kísérletei során maximális szárazanyag-hozamot 200 kg N, 225 kg P és 150 kg ha⁻¹ dózisok esetén mért. GEISLER (1985) azt tapasztalta, hogy a N-koncentráció növelésével az össz-szárazanyag, a hajtások szárazanyag-mennyisége és a gyökerek szárazanyag-tömege gyarapodott.

GAY (1988) szerint a kukorica naponta, ha-onként 500 kg szárazanyagot állít elő optimális nagyságú levélfelület és gyökértömeg esetén, és akkor, ha a sorra kerülő agrotechnikai kezeléseket maradéktalanul elvégzik. A virágzás alatt árnyékolt növényekben a fotoszintézis csökkent, a szemek abortálódása növekedett (REED et al., 1988).

BÉLA – BERZE (1982) a talaj különböző hasznosítható vízkészlet szintjein mért evapotranszspiráció és a föld feletti szárazanyag termés közt szoros kapcsolatot talált. NE SMITH – RITCHIE (1991) kutatásai bizonyították, hogy vízhiány esetén szemtelítődéskor

csökken a biomassza felhalmozódása, a szemtelítődés mértéke és időtartama, kisebb a szemek száma és súlya, végeredményben a termés nagysága csökken.

A N- műtrágyázás hatását a kukorica szemtermésére, biomassza produkciójára, illetve a harvest-indexre (HI) számos kutató vizsgálta (KRANTZ – CHANDLER, 1951; RUSSEL, 1984; THIRAPORN et al., 1987). Kutatási eredményeik egybehangzóan igazolják, hogy N-műtrágyázás hatására a kukorica szemtermése nagyobb arányban nő, mint a növény vegetatív részeinek tömege. Vagyis a kukoricánövény N-műtrágyázás hatására leginkább a szemek számának és tömegének növelésével, illetve a HI javulásával reagál. A szárazanyag több mint fele található a szemtermésben az érést követően LÁSZTITY et al. (1985) vizsgálataiban is.

Az elmúlt évtizedekben jelentős számú kísérleti adat bizonyította, hogy a HI növelése a legtöbb kultúrnövény genetikai potenciálját javította. DONALD és HAMBLIN (1976) beszámolt arról, hogy a gabonafélék szemtermésének növekedése elsősorban a HI kedvezőbb értékének tulajdonítható.

A súlyos vízhiány – különösen a kritikus növekedési stádiumban (virágzáskor) – nagymértékben csökkenti a szemtermést és a HI-t. A vízellátottság időbeni megoszlása (pl. nővirágzás után rendelkezésre álló víz mennyisége) ugyancsak hatást gyakorolt a HI-re SINCLAIR et al. (1990).

A nitrogénhiány a virágzást közvetlenül megelőzően drasztikus terméscsökkenéshez vezet, míg a talaj kritikusan alacsony ásványi nitrogéntartalma a virágzás után már nem vált ki ilyen mértékű depressziót. Az eltérést KOVÁCS (1982) a szemszám csökkenésével magyarázza. A virágzás után a szemek száma már nem növelhető, a termés végső mennyisége azonban a szemtelítődés intenzitásának fokozásával még befolyásolható.

A kukorica növényszámának növelésekor a HI rendszerint már a vizsgált legalacsonyabb növényeszámtól kezdődően csökken és különösen akkor, ha a növény szám a maximális szemtermést eredményező ún. optimumot meghaladja (HANWAY – RUSSEL, 1969; ADELANA – MILBOURN, 1972; VOLDENG – BLACKMAN, 1974; DELOUGHERY – CROCKSTON, 1979) kutatásai igazolták azt is, hogy a kukorica HI-ére jelentősebb hatással van a stresszkörnyezet, mint a növényes szám vagy az érésidő.

BERZSENYI (1994) vizsgálatai szerint a növényes szám 20×10^3 és 120×10^3 tő ha⁻¹ intervallumban történő növelése jelentősen csökkentette a növényenkénti szárazanyag-produkciót és a növekedés dinamikáját. Csökkent a különböző növényi részek abszolút

menyisége, a szemtermésen kívüli részek aránya 49 %-ról 59 %-ra növekedett, és harvest-index (HI) pedig közel 10 %-kal csökkent.

BERZSENYI (1992) megállapította, hogy a biomassa és a szemtermés változása a N műtrágya dózisa, illetve a növényszám függvényében másodfokú parabolával írható le. A HI a N hatására szintén másodfokú parabola szerint változott, a tőszám növelésekor pedig lineárisan csökkent. Varianciaanalízissel igazolta a N-műtrágyázás és a növényszám szignifikáns hatását, valamint a N-dózis x év kölcsönhatását a HI-szel, illetve a növényszám x év kölcsönhatását a HI-szel, a biomassa produkcióval és a szemterméssel.

BERZSENYI (1993) leírja, hogy a műtrágya és a növényszám hatása minden évben szignifikáns volt a kukorica biomassa produkciójára, szemtermésére és HI-ére. A hibrid biomassa produkcióra és a szemtermésre gyakorolt hatása változó, a HI-re azonban mindig szignifikáns volt. A szignifikáns hatások közül a legfontosabb a műtrágyázás és a növényszám interakció. Kedvező évjáratban a biomassa produkció 235 kg ha^{-1} NPK dóziséig, a maximális növényszámig emelkedett a kontroll trágyázási parcellákhoz képest. Túltrágyázáskor a biomassa produkció maximuma kisebb és már alacsonyabb növényzámnál bekövetkezik. Száraz évben nagymértékű a termésredukció, és a szemtermés az optimális trágyázáshoz viszonyítva csökken. A növényszám növelésével a HI értéke is kisebb lett, túltrágyázás esetén a HI értéke a kontroll értéke alá csökkent.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

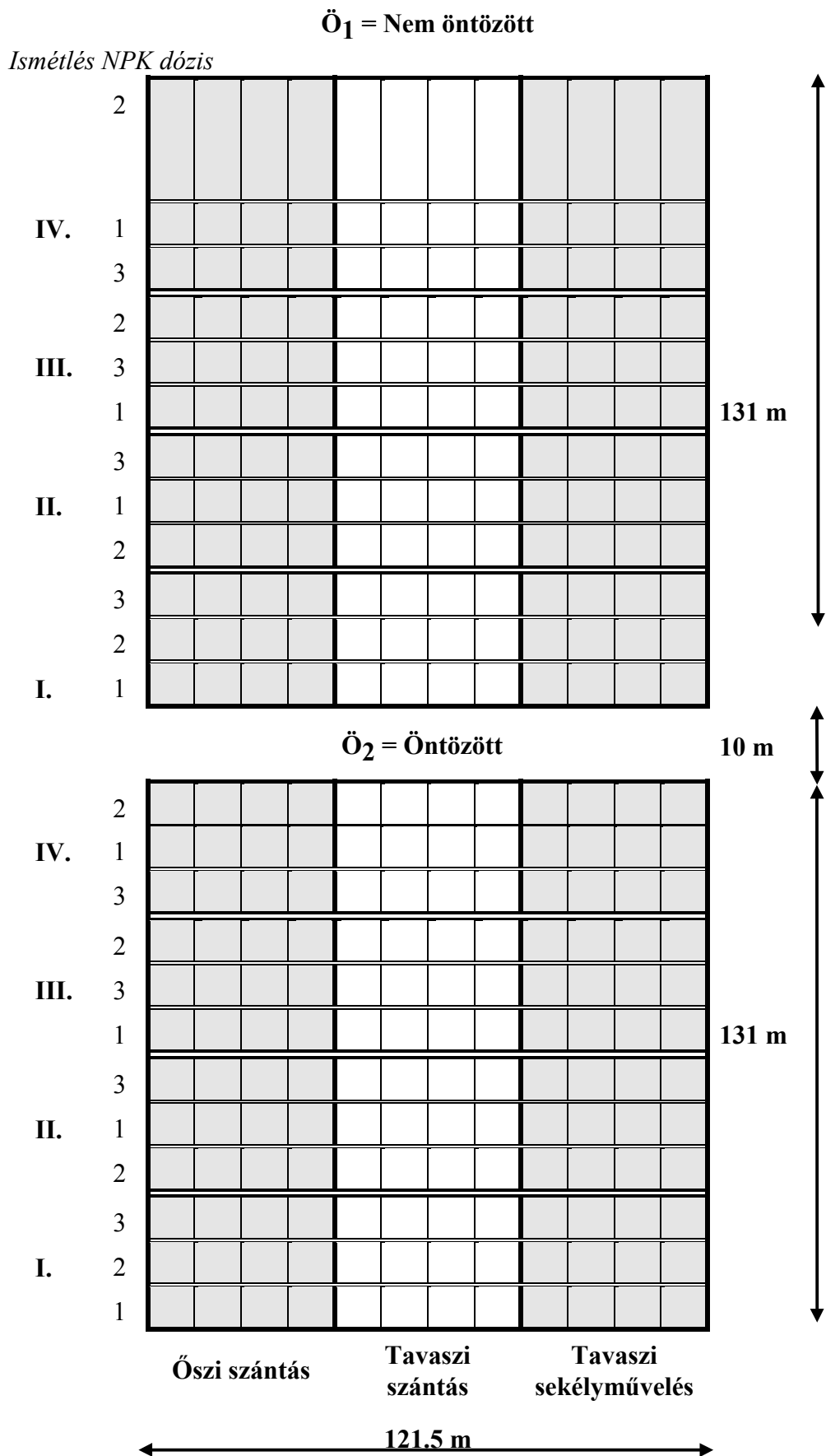
3.1. A talajművelési kísérlet fontosabb jellemzői

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 (1. ábra.).

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 növény számmal, 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 $N_0P_0K_0$ (műtrágyázás nélküli kontroll), $N_{120}P_{90}K_{106}$, ill. $N_{240}P_{180}K_{212}$ 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 növény számmal szerepel.



1. ábra. A többtenyezős talajművelési tartamkísérlet elrendezése

3.2. A vizsgált terület talajtani jellemzése

A kísérleti telep a hajdúsági löszháton található, a látóképi Pece-értől nyugatra, közvetlenül az ér és a nagyhegyesi dűlőút között helyezkedik el. 113-118 m (Adria) közötti szintkülönbséget mutat. A terület legmagasabb szintvonala (118 m) a telep ÉNY-i sarkán található, innen DK-i irányba 1 %-os lejtés tapasztalható. A hátsabb területek térszíni fekvése 116.6-117.2 m, a mélyedéseké 115.8 m körüli. A terület nagyobbik hányadán „alföldi mészlepedékes csernozjom” talaj található. A mélyebb fekvésű, kisebb-nagyobb mértékben vízgyűjtő, nem nagy kiterjedésű területek talaja kilúgozott csernozjom, esetleg réties jelleggel. A fizikai talajféleség középkötött vályog. A művelt réteg és a közvetlen alatta lévő 10-15 cm-es réteg összporozitása 44-48 %. A 40 cm alatti rétegben az összporozitás a csernozjom talajokra jellemzően 50-53 %. A gravitációs pórusok aránya jelentősen csökken a művelt réteg alatti 10-15 cm-es rétegben. Ennek következménye, hogy a víz a művelt rétegből viszonylag lassan szivárog le. Az egyenletesen humuszosodott réteg vastagsága 70-80 cm, humusztartalma 2.5-3.0 %. A művelt réteg KCl-os pH-ja átlagosan 6.2. A talaj össznitrogéntartalma 0.15 %, ami közepes ellátottsági szintnek felel meg. A művelt réteg AL-oldható P₂O₅ tartalma a területen jelentős heterogenitást mutat, a 0-20 cm-es talajréteg átlagértéke (133 ppm) alapján közepesen ellátott, AL-oldható K₂O tartalma (240 ppm) alapján jó ellátottsági szintbe sorolható. A talajvíz 5-8 méter mélyen helyezkedik el. A fenti talajjellemezés a kísérlet beindításakor végzett általános talajvizsgálati eredmények alapján készült. 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	leiszapol- ható rész	Arany-féle Kötöttségi szám	higrosz- kóposság	térfogat- tömeg	pórus- térfogat	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 cm	kémhatás		CaCO ₃ %	humusz %	Össz.N %	AL-oldható ppm	
	H ₂ O	KCl				P ₂ O ₅	K ₂ O
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

3. táblázat. A tartamkísérletben feltárt talajszelvény leírása

A _{sz} szint	0-25 cm, barnásfekete színű, laza, morzsás szerkezetű vályog, nyirkos, növényi maradványokat tartalmaz
A ₁ szint:	25-50 cm, barnásfekete, tömődött, morzsás szerkezetű vályog, nedves, szénsavas meszet nem tartalmaz, sósavval nem pezseg, egyenletesen humuszos, gilisztajáratokkal tarkított, átmenet a következő szintbe fokozatos
B szint:	50-60 cm, barnásfekete, gyengén tömődött, morzsás szerkezetű vályog, nedves, humusztartalom a mélységgel fokozatosan csökken. Szénsavas mész a szint alján jelenik meg a szerkezeti elemek felületén szürke lepedék formájában, sósavval gyengén pezseg. Gilisztajáratokkal tarkított
BC szint:	60-90 cm, sárgásbarna, gyengén tömődött, nedves, szénsavas meszet tartalmaz, sósavval erősen pezseg, mészerek és mészkonkréciók is találhatóak, krotovinákkal, gilisztajáratokkal tarkított
C szint:	90 cm- színe sárga, sárgásbarna lösz, gyengén tömődött, agyagos vályog, nedves, sósavval erősen pezseg, mészkonkréciókat tartalmaz, krotovinákkal tarkított

4. táblázat. A terület talajának mechanikai összetétele (részecske megoszlás %)

Mélység cm	részecske Ø mm						
	homok		vályog				agyag
	2-0.25	0.25-0.05	0.05-0.02	0.02-0.01	0.01-0.005	0.005-0.002	<0.002
0-20	0.08	8.31	34.39	12.74	8.63	7.55	28.30
20-45	0.04	8.60	32.72	15.34	8.05	7.34	27.91
45-65	0.04	10.4	31.48	15.52	8.71	7.82	26.03
65-95	0.24	10.15	29.07	14.88	7.87	10.12	27.63
95-105	0.20	8.34	32.82	15.93	7.79	8.20	26.70
105-150	0.32	11.50	34.08	14.80	8.19	7.28	23.87

3.3. A kísérlet technológiai adatai

A kísérletben az elővetemény monokultúras kukorica volt. A talaj-előkészítés sorrendjét és időpontját a vizsgált években az 5. táblázat. foglalja össze.

Az 1996/97. évi kísérletben az őszi szántást, ill. a sekély tavaszi alapművelést alkalmazó technológia esetén 1996. október 2-án szárazúzóval aprították a növényi maradványokat, ezt követően október 17-én tárcsázták a területet, majd október 24-én műtrágyázást végeztek. Az éves műtrágyaszükséglet teljes mennyiségét megosztás nélkül, egy adagban juttatták ki a területre. A szántást – 27 cm mélyen – november 9-én végezték el. Tavasszal a szántott kezelés parcelláin három egymást követő időpontban végezték a vetőágy előkészítését. Az elsőt 1997. március 15-én, a másodikat április 7-én, a harmadikat május 1-én. A tárcsával végzett sekély (12 cm) alapművelést 1997. május 1-én végezték, majd a vetéshez kombinátorral készítették elő a kísérlet talaját. A vetésre május 2-án került sor, Wintersteiger parcella vetőgéppel. A vetést követően a talajfelület lezárásaként május 3-án gyűrűshengert járattak a területen. A kelés a szántott kezelésben május 16-án volt, tavaszi sekélyművelés esetén a 75 %-os állományszintű kelést május 20-án mértük. Május 20-án vegyszeres kezelést végeztek, Banvel 480 (0,6 l ha⁻¹) és Titus 25 DF (40g ha⁻¹) szerekkel. A kísérlet évében december 15-16-án takarították be a kukoricát.

Az 1997/98. évi kísérletben az őszi szántáson alapuló talajművelési kezelés, ill. a sekély tavaszi alapművelés esetén egyaránt 1997. október 1-én szórták ki a műtrágya teljes mennyiségét a területre, megosztást nem alkalmaztak. Ezt követően mindkét kezelésben szárazúzóást végeztek, majd ezt a műveletet tárcsázás követte két alkalommal október 24-én. A tárcsázás után az őszi szántást 25-27 cm mélységben november 20-án végezték el. Az őszi szántáson alapuló kezelésben tavasszal két menetben készítették elő a vetőágyat 1998. április 22-én és 27-én. A tavaszi sekélyművelésű területen április 30-án tárcsával 12 cm mélyen alapművelést, majd ezt követően kombinátorral magágykészítést végeztek. A rendkívül csapadékos április végi-május eleji időjárás miatt a vetést csak megkésve, május 11-én végezték el Wintersteiger parcella vetőgéppel. Az állomány kelését május 19-20-án mértük a szántásos termesztéstechnológia esetén, míg a másik talajművelési kezelésben később, május 22-23-án keltek a növények. Mindkét talajművelési kezelésben május 30-án végezték el a posztemergens gyomirtást (Merlin Plus, 120 g ha⁻¹). A betakarítás november 5-6-án történt.

1998/99-ben a kísérletet előkészítő műveletek keretében 1998. november 8-án mindkét kezelésben szárazúzóást végeztek, majd a műtrágya teljes mennyiségének november 20-i

kiszórása után két alkalommal tárcsázták a területet (november 21. és 22.). Az őszi szántásra (27 cm mélységben) december 1-én került sor. A tavaszi magágykészítést 1999. április 20-án és 30-án végezték kombinátorral a szántást alkalmazó technológia esetén, míg a szántás nélküli sekélyművelésben április 29-én ásóboronával végzett 15 cm mély alpművelés után április 30-án kombinátort járattak. A vetést SPC vetőgéppel május 5-6-án hajtották végre. A tavaszi sekélyművelésű kezelésben a vetést követően (május 6.) gyűrűshengerrel tömörítették a talajfelszínt. A vetés utáni, kelés előtti preemergens gyomírtást mindkét művelés esetén Stomp vegyszerrel – 5 l ha⁻¹ dózist alkalmazva – végezték el, majd ezt követően május 29-én postemergens szerkombinációval (Gesaprim 0.5 l ha⁻¹ + Dezormon 1.2 l ha⁻¹) is kezelték a növényállományt. A kelést május 16-án (őszi szántás), ill. május 18-19-én (tavaszi sekélyművelés) figyeltük meg. A hibrideket október 23-24-én takarították be.

5. táblázat. A talajelőkészítés sorrendje és időpontja a vizsgált években

év	őszi szántás	tavaszi sekélyművelés
1996/97	1996. X.2. szárazzás 1996. X. 17. tárcsázás 1996. X. 24. műtrágyázás 1996. XI. 9. őszi szántás 1997. III. 15., IV. 7., V. 1. kombinátorozás 1997. V. 2. vetés 1997. V. 16. kelés 1997. V. 20. vegyszerezés 1997. XII. 15-16. betakarítás	1996. X.2. szárazzás 1996. X. 24. műtrágyázás 1996. X. 28. tárcsázás 1997. V. 1. tárcsás alpműv. + kombinátorozás 1997. V. 2. vetés 1997. V. 20. kelés 1997. V. 20. vegyszerezés 1997. XII. 15-16. betakarítás
1997/98	1997. X. 1. műtrágyázás 1997. XI. 10. szárazzás + tárcsázás 2x 1997. XI. 20. őszi szántás 1998. IV. 22., 27. kombinátorozás 2x 1998. V. 11. vetés 1998. V. 19-20. kelés 1998. V. 30. vegyszerezés 1998. XI. 5-6. betakarítás	1997. X. 1. műtrágyázás 1997. XI. 10. szárazzás + tárcsázás 2x 1998. IV. 30. tárcsás alpműv. + kombinátorozás 1998. V. 11. vetés 1998. V. 22-23. kelés 1998. V. 30. vegyszerezés 1998. XI. 5-6. betakarítás
1998/99	1998. XI. 08. szárazzás 1998. XI. 20. műtrágyázás 1998. XI. 21-22. tárcsázás 2x 1998. XII. 1. őszi szántás 1999. IV. 20., 30. kombinátorozás 2x 1999. V. 5. vetés 1999. V. 7. vegyszerezés 1999. V. 16. kelés 1999. V. 29. vegyszerezés 1999. X. 23-24. betakarítás	1998. XI. 08. szárazzás 1998. XI. 20. műtrágyázás 1998. XI. 21-22. tárcsázás 2x 1999. IV. 29. alpművelés ásóboronával 2x 1999. IV. 30. kombinátorozás 1999. V. 5. vetés + gyűrűshenger 1999. V. 7. vegyszerezés 1999. V. 18-19. kelés 1999. V. 29. vegyszerezés 1999. X. 23-24. betakarítás

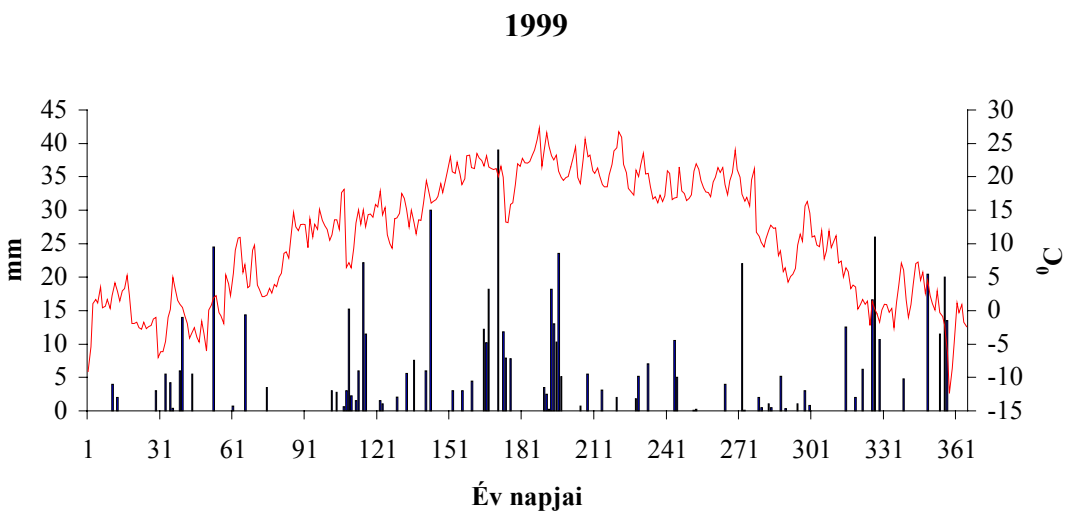
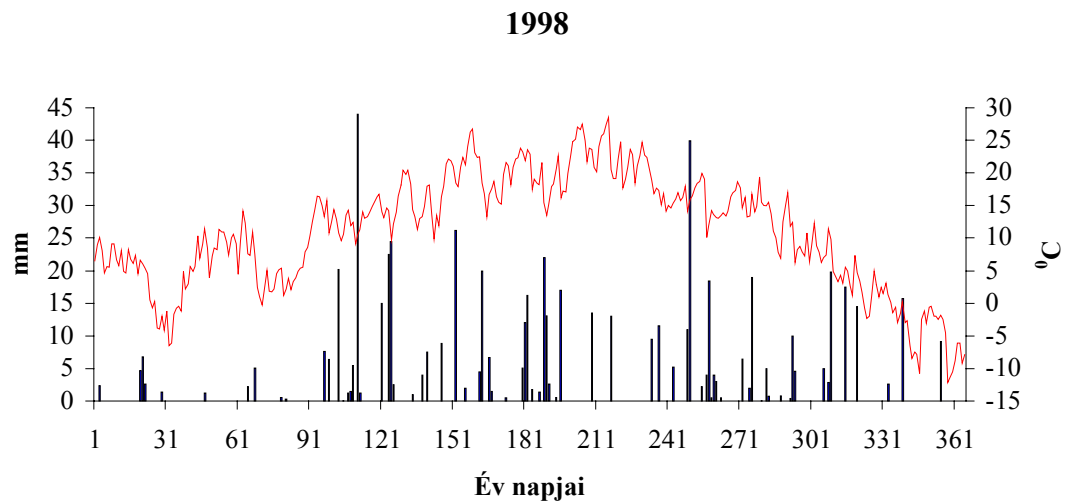
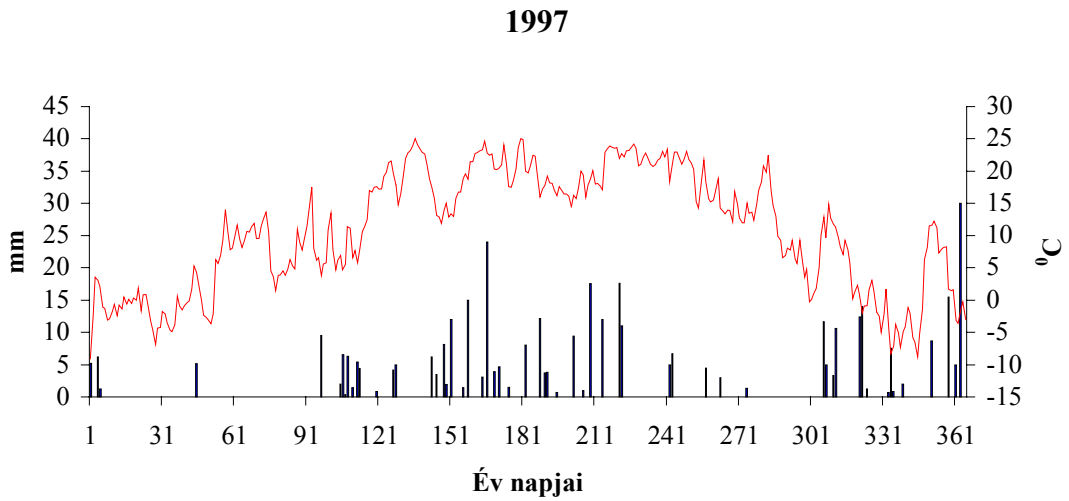
3.4. A kísérlet éghajlati jellemzői

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

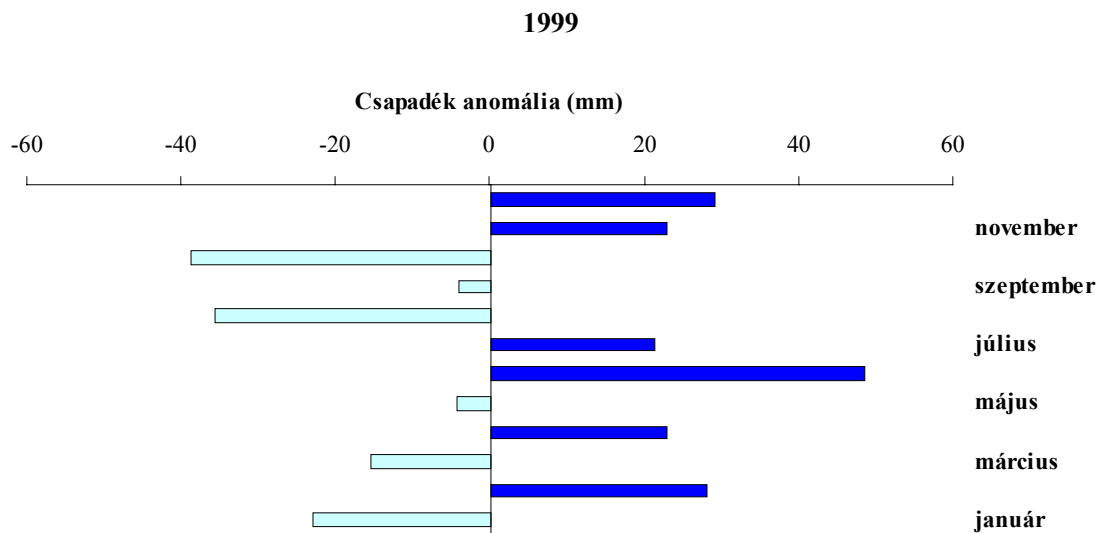
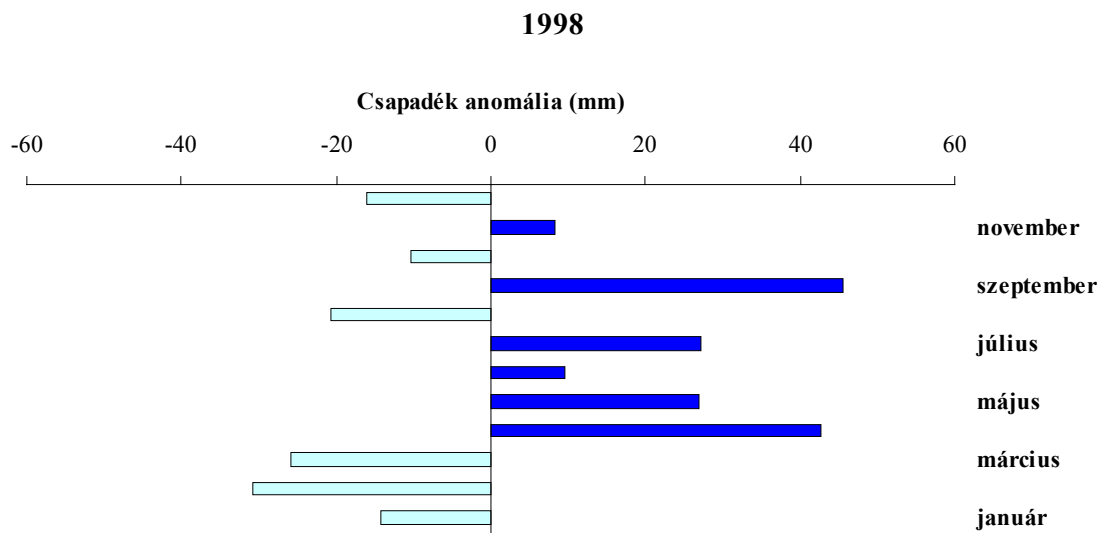
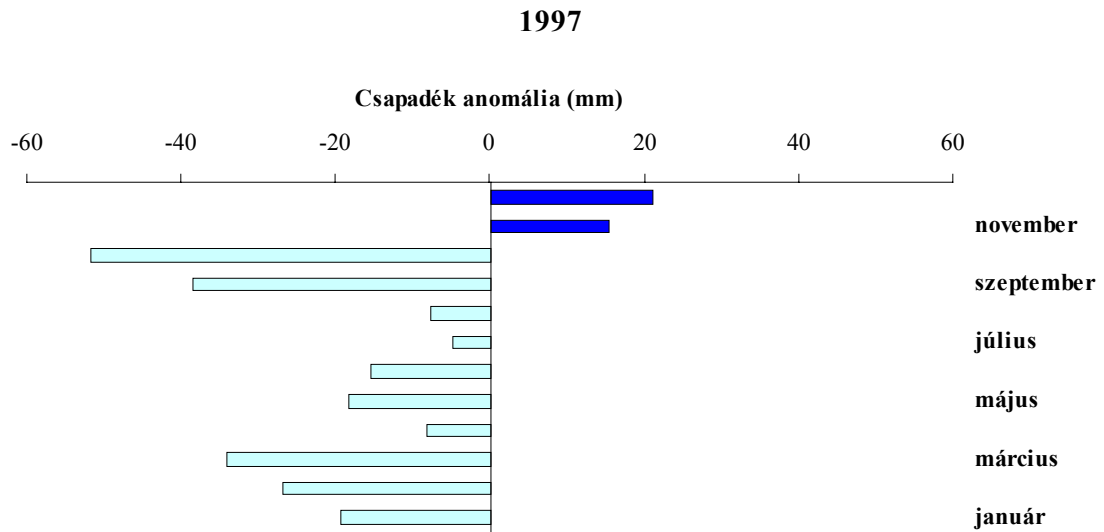
1997-ben összesen 394.7 mm csapadék hullott, 188.3 mm-rel elmaradva a sokéves átlagtól. Az elővetemény betakarításától a vetésig tartó időszakban 113 mm csapadékot mértek, ami jóval az 50 éves átlag alatt maradt (243 mm). Az igen száraz téli félévet követően a talajban tárolt vízmennyiség (elsősorban a talaj felső 5-10 cm-es rétegében) nagymértékben hátráltatta a kukorica csírázását, kelését. A helyzetet súlyosbította, hogy a vetés körüli csapadékszegény időszak a vegetációs periódus legmelegebb, 25-27 °C-os átlaghőmérsékletű napjaival esett egybe (2. ábra.). A kelést követően azonban mérséklődött a csapadékhiány, a lehullott csapadék mennyisége mellett annak eloszlása is kedvező volt, különösen a növényállomány számára kritikus júliusi, augusztusi időszakban volt folyamatos a csapadék utánpótlása. Ebben a periódusban az 50 éves átlagot megközelítve összesen 108.6 mm csapadékot mértek (3. ábra.).

1997-ben az évi átlaghőmérséklet 11.4 °C volt. Ez 1.4 °C-kal több, mint a sokéves átlag (10.0 °C). A tenyészidőszakban csak áprilisban (-1.0 °C) és júliusban (-2.9 °C) volt alacsonyabb, mint az 50 éves átlag. A legmagasabb átlaghőmérsékletet augusztusban mérték (21.8 °C), amely 1.5 °C-al haladta meg a sokéves átlagértéket (4. ábra.).

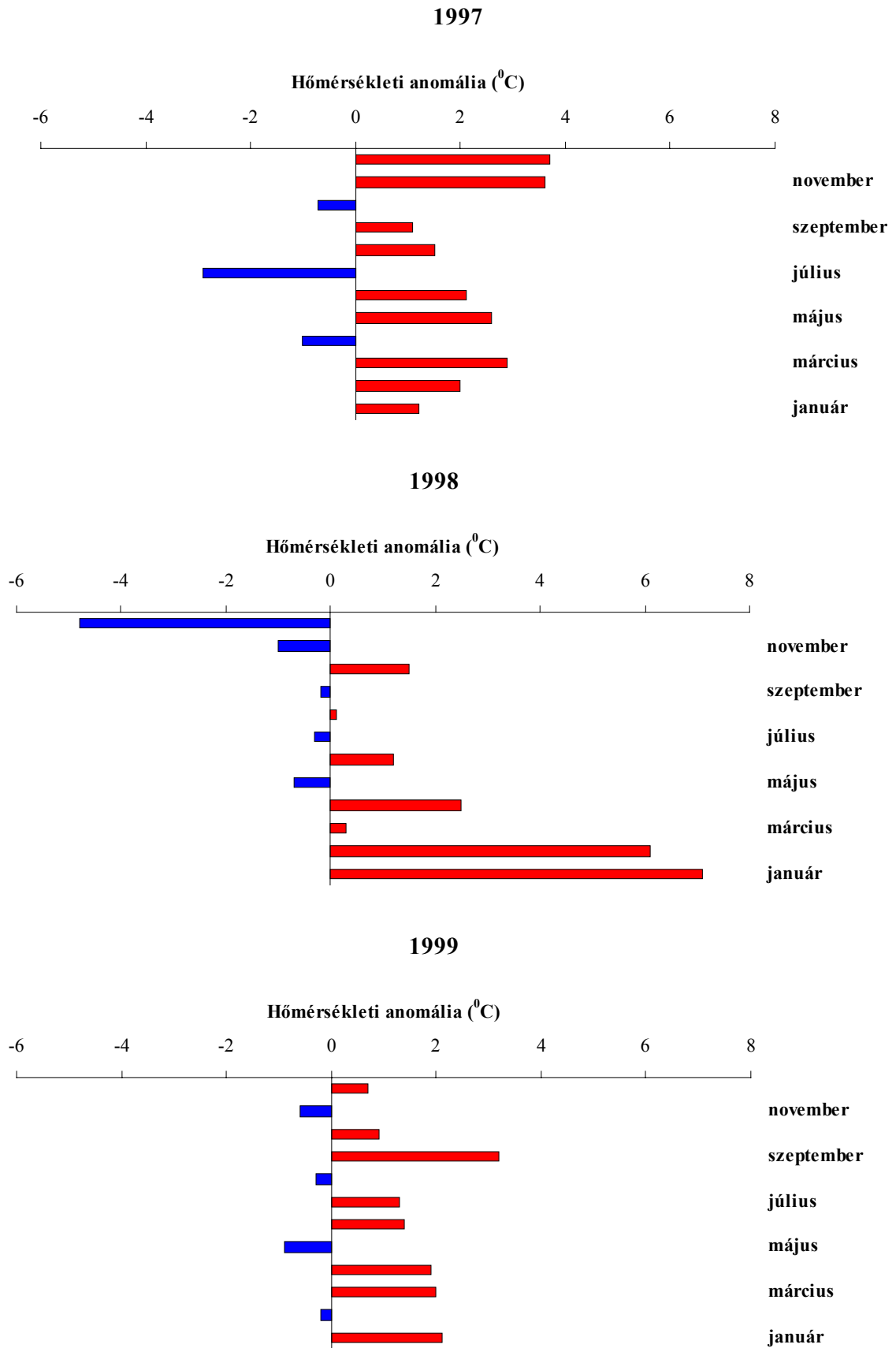
1998-ban a téli félév során 157 mm csapadék esett, ami 86 mm-rel maradt el a sokéves átlagtól. A tenyészidőszak során viszont (május első dekádja-október első dekádja) 470.9 mm hullott, 130.9 mm-rel meghaladva az 50 éves átlagot (340 mm). A lehullott csapadék a talajban tárolt vízmennyiséggel együtt optimális vízellátottságot eredményezett. A növényállomány fejlődése öntözés nélkül is kedvező volt, a szokásosnál bőségesebb csapadék hatására rekord mennyiségű termést takarítottak be. A hazánkban sokszor csapadékhiányos júliusban 88.2, augusztusban 39.2 mm eső esett. A két hónap csapadékösszege kismértékben az 50 éves átlagok alapján számolt értéket is (121 mm) meghaladta.



2. ábra. A lehullott csapadék mennyisége és eloszlása, valamint a napi átlaghőmérséklet alakulása (1997-1999)



3. ábra. A havi csapadékmennyiség eltérése a sokéves átlagtól (1997-1999)



4. ábra. A havi középhőmérséklet eltérése a sokéves átlagtól (1997-1999)

1998 az 1997-es évhez hasonlóan melegebb volt a sokéves átlaghoz viszonyítva. Az évi középhőmérséklet 1.0 °C-kal haladta meg az 50 éves átlagot. Különösen az év első felében, a téli, kora tavaszi hónapokban mért hőmérsékleti anomáliák voltak szembetűnők (4. ábra.). A tenyészidőszak hőmérsékleti adatai alapján megállapított középhőmérséklet 17.9 °C volt, amely a sokéves átlaghoz képest 0.6 °C-kal magasabb. A kritikus periódust jelentő július és augusztus átlaghőmérséklete 20.9 ill. 20.4 °C-ot ért el. Az előbbi érték a sokéves átlagnál kismértékben alacsonyabb, az utóbbi viszont 0.1 °C-kal magasabb volt.

Az 1999-es év 1998-hoz hasonlóan átlagon felüli mértékben csapadékos volt. Az év során 635.4 mm csapadék hullott, amiből a tenyészidőszakra 389.2 mm jutott. Ez az érték 49.2 mm-rel haladta meg a sokéves átlagot. A nyári hónapok csapadéka megfelelő vízellátottságot eredményezett. Júliusban és augusztusban összesen 106.9 mm csapadék hullott, ami kismértékben a sokévi átlag alatt maradt (3. ábra.).

Az évi középhőmérséklet 11 °C volt, azaz 1.0 °C-kal haladta meg a sokéves megfigyelések átlagértékét. A tenyészidőszak átlaghőmérséklete 18.4 °C volt, 1.1 °C-kal volt magasabb az 50 éves átlagnál. Július középhőmérséklete 1.3 °C-kal magasabb volt a sokéves átlagnál, augusztusban viszont ettől 0.3 °C-kal alacsonyabb értéket mértek.

Az 1997-től 1999-ig terjedő időszak időjárása kedvezett a kukorica fejlődésének. Az 1998-as és az 1999-es év időjárását bemutató ábrák egy viszonylag ritka egybeesésről árulkodnak. 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 termésmenvelés 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.

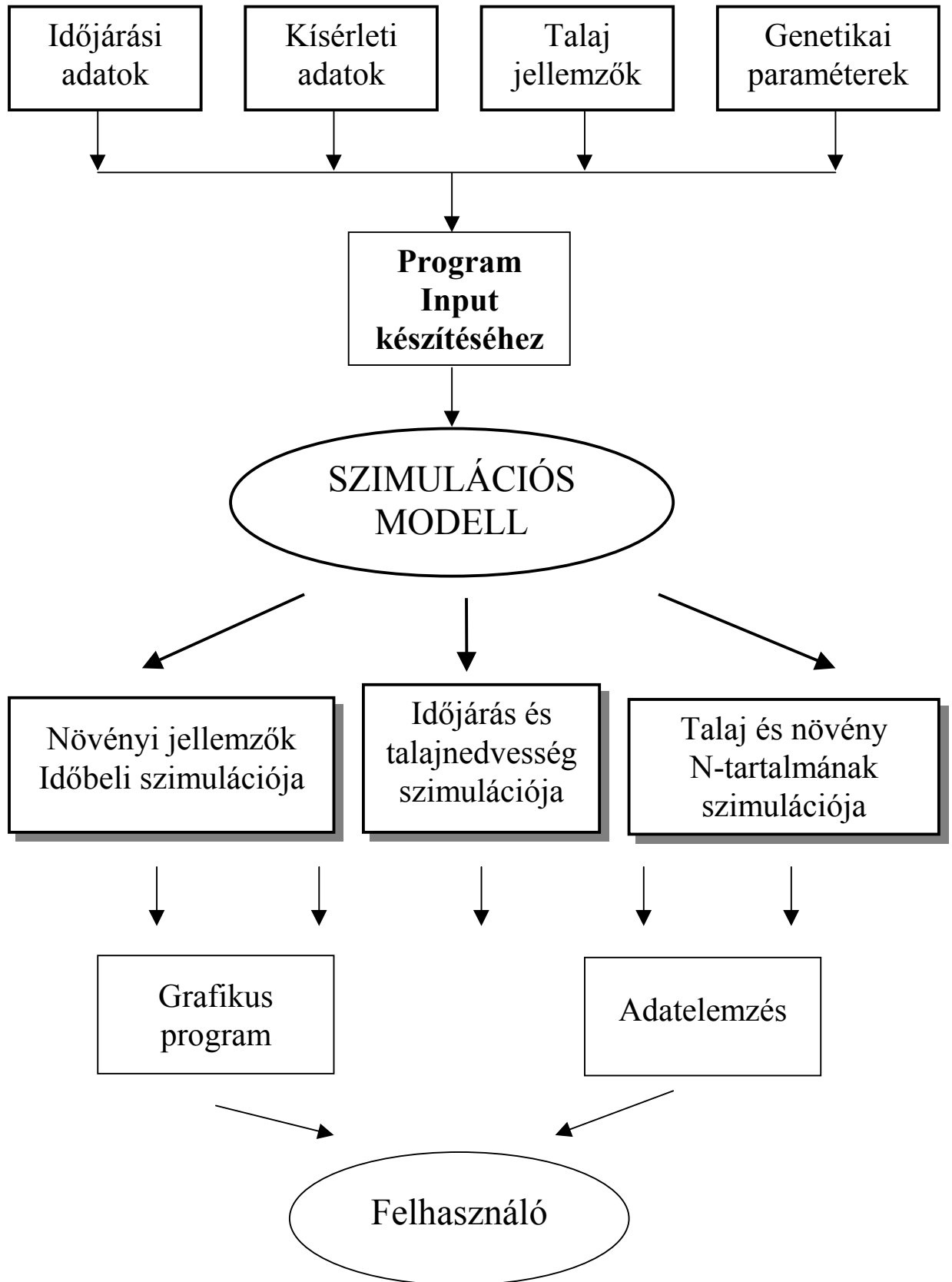
3.5. Kutatáshoz használt vizsgálati módszerek

3.5.1. 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 az 5. ábra mutatja be.

A Ceres-Maize modell az ún. determinisztikus modellek csoportjába tartozik. Fontosabb modellezett folyamatok: a növények fejlődése, a biomassa 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).



5. ábra. A DSSAT V 3.5 komponenseinek sematikus ábrázolása

3.5.2. 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 időjárás 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 6. táblázatban foglaltuk össze.

6. táblázat. A Ceres-Maize modell bemenő és eredmény adatállományai

Bemenő adatállományok	Eredmény adatállományok
időjárás 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)

Időjárás adatállomány

Napi léptékben tartalmazza a globálsugárzást, a maximum, minimum hőmérsékletet és a csapadék mennyiségét. Az állomány első sora földrajzi koordinátákat (hosszúság, szélesség) tartalmaz. A további 365, illetve 366 sorban az év napjainak adatait tüntették fel.

KOVÁCS (1995) szerint a modell érzékeny a földrajzi szélességre és nagyon érzékeny a sugárzási adatok helyességére a hazai, aszályra hajlamos körülmények között. Szárazságban alulbecsüli a termést, ha a mérőműszer hibás kalibrációja miatt túl nagy sugárzási értéket mérünk vagy számolunk a napfényes órák száma alapján. Ilyenkor a modell túlbecsüli a potenciális transzspirációt és irreálisan gyorsan elfogyasztja a vizet. A hőmérséklet pontos megadása fontos a növény fejlődése és növekedése szempontjából is, hiszen a fenofázisok hosszát elsősorban a hőmérséklet határozza meg, és a növekedési folyamatokban is fontos tényező. A tapasztalat szerint a hőmérséklet nem változik olyan szeszélyesen, mint a csapadék, ezért távolabbi mérésekkel is kielégíthető az adatigény, bár rendelkezésre állnak mérések a kísérlet közeléből. A csapadék adatnak a modellezett terület közvetlen közeléből

kell származnia, ellenkező esetben a becslés pontossága erősen romlik. Ennek oka egyrészt a csapadék egyenlőtlen területi eloszlása, másrészt szárazságra hajlamos klímánkban a növényi produkció érzékenysége a csapadéokra.

Talajszelvény adatállomány

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 7. táblázat tartalmazza.

7. táblázat. **A modell futtatásához használt bemenő talajparaméterek**

Réteg cm	Őszi szántás				Tavaszi sekélyművelés			
	LOL cm ³ cm ⁻³	DUL cm ³ cm ⁻³	SAT cm ³ cm ⁻³	BD g cm ⁻³	LOL cm ³ cm ⁻³	DUL cm ³ cm ⁻³	SAT cm ³ cm ⁻³	BD 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 vízmozgást alapvetően a vízkapacitási értékek szabályozzák. A modellben szereplő vízkapacitási értékek meghatározásához a Ritchie által javasolt hagyományos szántóföldi módszert alkalmaztuk (RITCHIE, 1981; BALLANEGGER, 1953). A holtvíztartalom mérésére olyan talajállapot a legalkalmasabb, amikor a kifejllett növény a talajból felhasználta az összes felvehető nedvességet, és már a hervadási tüneteket mutatja. A gyökérsűrűség eltérései miatt ez elvileg sem egyezik a laboratóriumi 4,2 pF értékkel. A hazai gyakorlatban használt 2,3 pF értéknél mért vízkapacitás sokkal több nedvességet tartalmaz, mint amit a modell vár a DUL értékhez. A szántóföldi vízkapacitás meghatározásához ezért a talajt a telítő

esőzést követően 6-8 nappal mintáztuk meg, amikor a talajban lévő nedvesség 2,5 pF értékkel jellemezhető a gyökerek által átszött talajrétegekben. A szemcseméret és térfogattömeg ismeretében RITCHIE (1981) számítási eljárást is ajánl. Az így nyert vízkapacitási értékek KOVÁCS (1995) szerint eltérnek a hazai laboratóriumi mérések, illetve az ezt modellező Rajkai-féle becslések értékeitől (RAJKAI, 1988). Ritchie általában mindháromra kisebb értéket becsül. A szántóföldi vízkapacitás és holtvíz közötti különbséget egyenletesen 14 tf % körülinek számolja. KOVÁCS (1995) a hazai kísérletek adaptálásakor jó eredményt ért el az olyan holtvíz értékekkel, melyek a Rajkai-féle számítást alulról közelítették. A maximális vízkapacitásra a modell jelenlegi felépítésében csak különlegesen nedves viszonyok között érzékeny (lefolyás, denitrifikáció).

Genetikai paraméterek adatállomány

A kísérletben felhasznált kukorica hibridek genetikai paramétereit a 8. 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 fajtára jellemző maximális sebességét fejezi ki ($\text{mg nap}^{-1} \text{ szem}^{-1}$).

Az egyes fenológiai fázisokhoz szükséges hőösszeg értékek kiszámításához a modell az alábbi képleteket használja:

$$\text{TEMPM} = (\text{TEMPMX} + \text{TEMPMN})/2$$

$$\text{DTT} = \text{TEMPM} - \text{TBASE.}$$

$$\text{TTMP} = \text{TEMPMN} + \text{TMFAC(I)} * (\text{TEMPMX} - \text{TEMPMN})$$

$$\text{DTT} = \text{TTMP} - \text{TBASE.}$$

A képletekben szereplő TEMPM a napi átlaghőmérséklet, amelyet a napi maximum (TEMPMX) és a napi minimum (TEMPMN) hőmérséklet számtani átlagából számíthatunk ki. DTT-vel jelöltük a kumulált napi hőösszeget, amelyet a modell a napi átlaghőmérséklet és a bázishőmérséklet különbségéből állít elő, ha mind a napi minimum mind a maximum hőmérséklet nagyobb, mint a bázishőmérséklet, de mindkettő kisebb 34°C -nál. A vetéstől a kelésig tartó időszakban 10°C , míg a keléstől a fiziológiai érettségig 8°C bázishőmérséklettel számol a modell. Amennyiben a napi átlaghőmérséklet kisebb a bázishőmérsékletnél, vagy a

napi maximum hőmérséklet 34 °C felett van, a modell az ún. három órás hőmérsékleti korrekciós faktort (TMFAC(I)) felhasználva nyolc alkalommal interpolálja a levegő hőmérsékletét (TTMP). Ha a TTMP értéke a bázishőmérséklet és 34 °C között van, a napi hőösszeget a TTMP és a bázishőmérséklet különbségéből számítja ki. A napi hőösszeg nullával egyezik meg, ha a TTMP értéke kisebb a bázishőmérsékletnél, de nagyobb, mint 44 °C. Ha TTMP 34 és 44 °C között van, a napi hőösszeg értékét az alábbi képlet adja meg:

$$DTT = (34 - TBASE) * (1 - (TTMP - 34) / 10)$$

Ha ezután a DTT három órás időközönként számított, nyolc alkalommal interpolált értékét átlagoljuk, megkapjuk a hőösszeg egy napra vonatkoztatott értékét.

8. 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	175	0.5	780	830	7.20

Kísérleti adatok adatállomány

Ez a szimuláció központi szabályozó egysége. Az első rész egy kapcsolótáblát tartalmaz, ami kódokkal azonosítja a később részletezett kezeléseket, amiket az adott parcellán alkalmazunk. A következő rész a termesztett növény fajtát és fajtáját azonosítja. Ezután a parcellához tartozó időjárás hely és talajféleség kódjai láthatók. Kezdeti feltételek, az induló talajnedvesség és nitrogéntartalom megadása következik, minden egyes kezelést különböző feltételekkel indíthatunk. A vetés, az öntözés, trágyázás, szármaradványok és szerves anyagok, talajművelési beavatkozások jellemzőit állíthatjuk be a soron következő szakaszban. Meghatározhatjuk a szimuláció lefutásának módját is, ill. az analízisekben résztvevő rutinok féleségét. Végezetül az automatikus vetés, öntözés, trágyázás, szármaradványok és betakarítás paramétereit adhatjuk meg.

A fiziológiai érettség idején, ill. betakarításkor megfigyelt adatokat a *.mza kiterjesztésű bemenő állományban tárolhatjuk. Ebben az esetben az eredmény állomány (általános eredmények, *overview.out*) összefoglalja egymás mellett a modell által becsült eredményeket a kísérletben mért változókkal. A *.mza kiterjesztésű állomány tartalmazza a kezelés sorszáma mellett a szemtermés, az összes föld feletti biomassza, a melléktermék (kg ha⁻¹), a szemszám cső⁻¹, a szemszám m⁻², a maximális LAI (m² m⁻²) értékeit, az egyes növényi részek N-

tartalmát (kg ha^{-1}), ill. a virágzás és fiziológiai érettség napját. A szezonális mérési adatokat (talajnedvesség, talaj nitrogéntartalma, növényi biomassza) a *.mzt kiterjesztésű állomány tartalmazza. Ez teszi lehetővé, hogy a tenyészidőszak folyamán a kísérletben mért adatokat a modell által becsült értékekkel összehasonlíthassuk.

Időjárás és víz szimuláció adatállomány

Az állományban kapnak helyet a napi léptékben szimulált evaporáció, transzspiráció, potenciális evapotranszspiráció értékek. A program becsli emellett az egyes talajrétegek aktuális nedvességtartalmát és a növényállomány számára rendelkezésre álló víz mennyiségét. A rétegenként megadott becsült talajhőmérséklet további elemzésre ad lehetőséget. A becslés kiterjed továbbá a talajszelvényt elhagyó és a mélybe szivárgó víz napi mennyiségére. Ennek az adatnak a sók (pl.: NO_3) kimosódása miatt van nagy jelentősége.

Tápanyag szimuláció adatállomány

A talaj-növény-atmoszféra rendszerben lezajló nitrogénforgalom napi részletességgel rétegenként követhető nyomon. Az állomány a talaj és a növény nitrogéntartalmáról ad felvilágosítást, ill. jelzi a kritikus, nitrogénhiányos időszakokat. Rétegenként elemezhetjük a talaj nitrát- és ammónium-N-tartalmának változását, emellett napi becslést kapunk a $\text{NO}_3\text{-N}$ talajszelvényből kimosódott mennyiségéről.

A nitrogénforgalom nitrát bemosódás szubrutinjának (NFLUX) ismertetése

A szubrutin kiszámítja a talajrétegen átszűrődő, átszivárgó vízzel lefelé mozgó nitrát-N mennyiségét. Kiszámítja továbbá a talajrétegek között a diffúzióhoz kötött nedvességmozgás hatására lefelé és felfelé áramló nitrát mennyiségét, amikor a talaj nedvességtartalma a szabadföldi vízkapacitásnál (DUL) kisebb.

A gravitációs vízárammal lefelé vándorló nitrát-N mozgása (NOUT(L) , kg N ha^{-1}) a következő egyenlettel írható le:

$$\text{NOUT(L)} = \text{SNO}_3(\text{L}) * \text{FLUX(L)} / (\text{SW(L)} * \text{DLAYR(L)} + \text{FLUX(L)})$$

$$\text{SNO}_3(\text{L}) = \text{SNO}_3(\text{L}) - \text{NOUT(L)},$$

amelyben FLUX(L) az adott talajrétegen átszivárgó víz mennyisége (cm^3), SW(L) az adott talajréteg térfogat%-os nedvességtartalma ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), $\text{SNO}_3(\text{L})$ a $\text{NO}_3\text{-N}$ tartalom (kg ha^{-1}), DLAYR(L) pedig az adott réteg vastagsága (cm)

A talajrétegen átszivárgó víz nem csökkentheti a nitrát-N koncentrációját 1 kg ha^{-1} érték alá. A számításokat a program a talaj legfelső szintjétől kezdődően újra és újra ismétlődő

utasítássorozat segítségével végzi el. A számítás minden egyes lépésénél a korábbi NO₃-N koncentrációk felülíródnak.

Hasonló eljárás segítségével számolja ki a program a szomszédos talajrétegek közötti nedvességkülönbség hatására bekövetkező NO₃-N elmozdulást, amelyet rendszerint a talaj felszínén fellépő evaporáció vált ki. A program a nitrát lefelé (FLOW < 0) illetve felfelé (FLOW > 0) történő mozgásakor az alábbi képletet használja:

$$NUP(K) = SNO_3(K) * FLOW(K) / (SW(K) * DLAYR(K) + FLOW(K)) * 0.5,$$

amelyben NUP(K) a le- és felfelé mozgó nitrát mennyisége (kg ha⁻¹), FLOW(K) az adott (K) rétegből le- és felfelé mozgó víz mennyisége (cm³).

A nitrogénforgalom denitrifikációs szubrutinjának (DNIT) ismertetése

A CERES-Maize modell denitrifikációs szubrutinja a denitrifikáció során ammóniává, illetve elemi nitrogénné alakult NO₃-N mennyiségéről ad felvilágosítást. A denitrifikáció fokozódik a talajnedvesség növekedésével (az oxigéntartalom csökkenésével), de függ a NO₃-N tartalomtól és a könnyen bontható szerves anyagok mennyiségétől is. Valahányszor a talaj nedvességtartalma meghaladja a szabadföldi vízkapacitás értékét, a program kiszámítja a denitrifikálódott nitrát-nitrogén mennyiségét. 1 mg kg⁻¹ NO₃-N koncentráció esetén a program nem számol denitrifikációval.

A talaj összes széntartalmát (SOILC) (kg ha⁻¹) a friss szerves anyagban (FOM) és a humuszban (HUM) található szén mennyisége adja az alábbi egyenlet alapján:

$$SOILC = 0.4 * FOM(L) + 0.58 * HUM(L)$$

A rendelkezésre álló szén mennyiségét meghatározó tényezőt (EW) az ún. átszámítási faktor segítségével kapjuk meg:

$$CW = (SOILC * FAC(L)) * 0.0031 + 24.5$$

A program számol továbbá a denitrifikáció víz (FW) és hőmérsékleti (FT) tényezőjével a következő képletek alapján:

$$FW = 1.0 - (SAT(L) - SW(L)) / (SAT(L) - DUL(L))$$

$$FT = 0.1 * EXP(0.046 * ST(L)),$$

amelyben ST (L) az adott (L) talajréteg hőmérséklete. Az adott talajrétegben denitrifikálódott a NO₃-N mennyisége (DNRATE) kg N ha⁻¹ az alábbi:

$$DNRATE = 0.00006 * CW * NO_3(L) * BD(L) * FW * FT * DLAYR(L),$$

amelyben BD az adott talajréteg térfogattömege (g cm^{-3}), $\text{NO}_3(\text{L})$ pedig a nitrát-N koncentrációja.

Vízháztartási mérleg állomány

Az állomány összefoglalja a szimuláció kezdő és záró napja között eltelt időszak legfontosabb vízforgalmi jellemzőit. A vízmérleg bevételi oldalán a csapadék és az öntözővíz, míg a kiadási oldalon az öntözési veszteség, a talajszelvényt elhagyó víz összes mennyisége, a lefolyással, a talaj párolgásával és a növények párologtatásával eltávozó halmozott vízmennyiség szerepel. Az állomány becsli emellett az adott időszak kumulált potenciális evapotranszpirációját is.

Nitrogénháztartási mérleg állomány

Az állomány a szimuláció kezdő és záró napjára vonatkozóan számba veszi a talaj összes szerves kötésben lévő nitrogénjét, a növények számára könnyen felvehető ásványi nitrogénformákat, a műtrágyázásból, a szármaradványokból és a vetőmagból származó nitrogént. A program becsli a 2 m-es talajszelvényből kimosódott nitrát halmozott mennyiségét, a denitrifikációt és a növényi nitrogénfelvételt.

3.5.3. Növényvizsgálati módszerek

A vizsgálatokat közép-kötött, mészlepedékes csernozjom talajon beállított, több tényezős talajművelési tartamkísérletben, *öntözetlen körülmények mellett* végeztük. A vizsgált két eltérő tenyészidejű és genotípusú hibrid a *Debreceni 377 SC* (FAO 340), illetve a *DeKalb 471 SC* (FAO 410) volt. Kísérletünkben az *őszai 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. Az előbbieket figyelembevételével a mintavétel időpontjait a 9. táblázat.

tartalmazza. A táblázatban szereplő időpontok után zárójelben a vetés után eltelt napok számát tüntettem fel.

9. táblázat. **Mintavételi időpontok a tenyészidőszakban**

1997	1998	1999
-	június 4. (24)	-
-	június 11. (31)	június 8. (33)
-	június 30. (50)	-
-	július 14. (64)	július 8. (63)
július 11. (70)	július 27. (77)	július 21. (76)
július 28. (87)	-	-
augusztus 11. (101)	augusztus 27. (108)	augusztus 18. (104)
augusztus 25. (115)	-	szeptember 1. (118)
szeptember 8. (129)	szeptember 23. (135)	szeptember 16. (133)
szeptember 22. (143)	október 7. (149)	-

Minden kezelésből és ismétlésből 3-3 teljes kukoricánövényt 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 biomassa 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 koeficiens 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 m²-enkénti és a csövenkénti szemszámot, szemtömeget, ezerszemtömeget, a betakarításkori növényyszámot). 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 8. táblázatban közölt mintavételi időpontokban mértük a levelek maximális hosszát és szélességét. A kukorica egyedi levélterületét és ebből a levélterület-indexet (LAI m² m⁻²) a hossz és szélesség mérésével az ún. Montgomery formulával számítottuk ki (MONTGOMERY, 1911).

3.5.4. 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 ismétlésben 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 NH₄- és NO₃-N, valamint P₂O₅ és K₂O tartalmának meghatározását a DATE Műszerközpontja végezte el (KCl oldható NO₃, valamint Al-oldható P₂O₅ és K₂O meghatározása Contiflo-sorral).

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

3.5.5. 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 varianciaanalízist* alkalmazunk. Talajművelési kísérletnél az egységnyi területre vetített termés összehasonlítása statisztikai szempontból nem helyes. Az egységnyi területre vetített termés a növényszám és az egyedi produkció szorzataként modellezhető. A talajművelés mindkét tényezőt, komponenset erősen módosíthatja. Az egy hektárra vetített termések összehasonlításakor az additív tulajdonság számos feltétel miatt nem teljesül maradéktalanul. Emiatt az értékelésbe több változót vonunk 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 szerepelnek. 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 regressziós egyenes illeszkedésének pontosságát az alábbi kritériumok alapján bíráltuk el:

- 1) a szimulált és a mért adatok eltérés négyzetösszegének minimalizálása;
- 2) a determinációs együttható (r^2 érték) nagysága;
- 3) a regressziós becslés standard hibájának mértéke;
- 4) a regressziós állandó (tengelymetszet) és a regressziós együttható értéke.

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.

4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉS

4. 1. A talaj nedvességkészlete a szimuláció indulásakor

A modell rendkívül érzékeny a szimuláció kezdetén mért talajnedvesség értékekre, mivel ezek az input adatok a talaj ásványi nitrogéntartalmával együtt alapvetően meghatározzák a becslés pontosságát. A mintavétel idejéül ezért lehetőleg olyan időpontot kell választani, amely a vetéshez a legközelebb esik. Ezt azonban sokszor az időjárás és a talaj állapota befolyásolhatja.

A kísérletben mért talajnedvesség értékeket a modell becslésével is összehasonlítottuk. A szimulációt nemcsak egy adott év tenyészidőszakában végeztük el, hanem folyamatos futtatásra is használtuk a modellt. Ebben az esetben az egyes évek láncszerűen kapcsolódnak egymáshoz. A tárgyév szimulációs futtatásának utolsó napján mért talajnedvesség értékeket a következő év induló paramétereinek tekintettük, s így végeztük el a szimulációt a továbbiakban.

Az 1997-es év tavaszi nedvességkészletéből kiindulva futtattuk le a modellt, majd az őszi trágyázásidőpontját megelőző nap „záró” talajnedvesség értékeit induló nedvességként alapul véve végeztük el a szimulációt az 1997/98-as őszi, téli félévben és az 1998-as év tenyészidőszakában. Ugyanígy jártunk el a következő, 1999-es esztendőben is. Ez a módszer lehetővé teszi, hogy a talaj kísérletben mért tavaszi nedvességkészletét a modell becslésével is összevessük, s így pontosabb képet alkossunk az őszi, téli időszak vízforgalmáról. Az őszi, téli hónapokat, illetve a tenyészidőszakot felölelő szimuláció azonban csak a műtrágyázott kezelésekre terjedt ki a vizsgált két évben (1998, 1999), mivel 1997-ben a talajszelvény induló tavaszi nedvességkészletét a műtrágyázás nélküli, kontroll parcellákon nem mértük.

Az 1997-től 1999-ig tartó időszak tavasszal mért nedvességkészletét a 6. ábrán tüntettük fel. Az ábrán a talaj térfogat %-ban kifejezett, adott időpontban mért nedvességtartalma mellett ábrázoltuk a talaj vízformáit, így a holtvíz, illetve a szabadföldi vízkapacitás értékeit, valamint a szimuláció segítségével becsült nedvességkészletet is. Ez utóbbiakat külön-külön határoztuk meg mindkét vizsgált talajművelési eljárásnál. Az eltérő térfogattömeg miatt a talaj művelt rétegében mind a HV, mind a VK_{sz} értékei különböztek egymástól. Őszi szántás esetén a talaj 2 m-es rétegének maximális víztárolási képessége 579 mm, ebből 343 mm a hasznosítható vízkészlet és 236 mm a holtvíz. Tavaszi sekély művelésnél a talaj 2 m-es rétege maximálisan 584 mm vizet tárol, ebből a diszponibilis víz értéke 344 mm, a növények számára nem hasznosítható holtvíz 240 mm.

1997-ben az őszi szántott és a tavaszi sekélyművelésű területek műtrágyázott parcelláit hasonlítottuk össze. Őszi szántás esetén 58 mm, szántás nélkül pedig 83 mm volt a 2 m-es talajszelvény kumulált vízhiánya a szabadföldi vízkapacitáshoz képest. A talaj mélyebb rétegeihez viszonyítva a felső 5 cm-es szelvény mind a szántott, mind a forgatás nélküli kezelésben jóval szárazabb volt, a nedvesség a szabadföldi vízkapacitás 74, illetve 66 %-át érte el. A 40-60 cm-es szelvény őszi szántás és forgatás nélküli művelés esetén egyaránt a szabadföldi vízkapacitás mértékéig telítődött, a mélyebb rétegek nedvességtartalma mindkét művelésben kismértékben a szabadföldi vízkapacitás alatt maradt, annak 86-95, illetve 81-90 %-át érve el. A mélyebb rétegek nedvességtartalma 1-2 térfogat %-kal kisebb volt tavaszi sekélyművelés esetén.

1998-ban az egyes talajművelési kezelések trágyázott parcellái mellett a műtrágyázás nélküli változatokat is bevontuk a vizsgálatba. A nedvességtartalom mérések alapján felrajzolt nedvességprofilokat értékelve megállapítottuk, hogy a 60 cm feletti talajréteg nedvességtartalma mindkét talajművelési, illetve trágyázási kezelés esetében jelentősen, mintegy 5-10 %-kal meghaladta a szabadföldi vízkapacitás értékeit. A felső, művelt réteg nagy nedvességtartalmaért a kora tavaszi időszak átlagosnál jóval csapadékosabb időjárása volt a felelős. Ezzel szemben a 140-160 cm-es szelvényben a talaj nedvességtartalma valamennyi kezelésben 14-16 térfogat %-ra süllyedt, a szelvény alján, 200 cm-en azonban a talaj ismét nedvesebb volt (17-18 tf %). Az időszakosan száraz, közties réteg rendkívül élesen határolódott el a felső, nedvesebb szelvénytől. A szabadföldi vízkapacitás alig 50 %-ának megfelelő nedvességkészlettel rendelkező, száraz réteg miatt a talaj felvehető víztartalma az előző évnek csak mintegy 75-80 %-át érte el, a számított vízhiány pedig 101-139 mm között alakult a talajművelés módjától és a műtrágyázás szintjétől függően. Az előző év tavaszán mért, a vetés megelőző értékekhez képest a művelés talaj-nedvességtartalomra gyakorolt hatása az 1998-as év tenyészidőszakának elejére jelentősen csökkent; az eltérő művelésű parcellák talajszelvényében talált kumulált nedvesség szignifikánsan nem tért el egymástól sem a trágyázás nélküli, sem a trágyázott kezeléseknél. Méréseink szerint viszont a műtrágyázás mindkét talajművelési kezelésben jelentős mértékben befolyásolta a rendelkezésre álló nedvességkészletet. A trágyázott parcellák talajában a jobb tápanyag-ellátottság hatására képződő, nagyobb tömegű biomassza erőteljesebb vízfelhasználása miatt a felvehető nedvességkészlet mintegy 33-37 mm-rel kevesebb volt. Ez a 120 cm-es talajszelvényben volt a legszembetűnőbb, ahol 5-6 térfogat %-os nedvességkülönbség alakult ki. A mérési eredményeket figyelembe véve a talajművelési és trágyázási kezelések között a

következő növekvő sorrend alakult ki a talaj nedvességtartalmát illetően: tavaszi sekélyművelés (trágyázott) = őszi szántás (trágyázott) < tavaszi sekélyművelés (trágyázás nélkül) = őszi szántás (trágyázás nélkül).

Az 1998-as év tavaszi, vetés előtt mért nedvességkészletét összevetettük a fent leírt szimulációs módszer segítségével becsült talajnedvesség értékekkel. A modell által szimulált és a mért értékek között 60 cm-es mélységig nincs igazolható különbség. A mélyebb rétegekben, a 60-140 cm-es szelvényben a modell a tényleges talajnedvesség értékeknél rétegenként 5-16 tf%-kal nagyobb nedvességet becsült. 140 cm-nél mélyebben viszont a modell által szimulált vízmennyiség kismértékben, mintegy 2-5 tf%-kal meghaladta a mért adatokat. A mért és a becsült talajnedvesség értékek közötti eltérés a talajművelési kezelésektől függően összesen 42-49 mm vizet jelentett a 200 cm-es szelvényben. A két a talajművelési kezelés szimulációs görbéinek egymáshoz viszonyított lefutása hasonló a mért értékekhez, tehát a talajművelési változatok között a modellezett adatok szerint sincs szignifikáns eltérés.

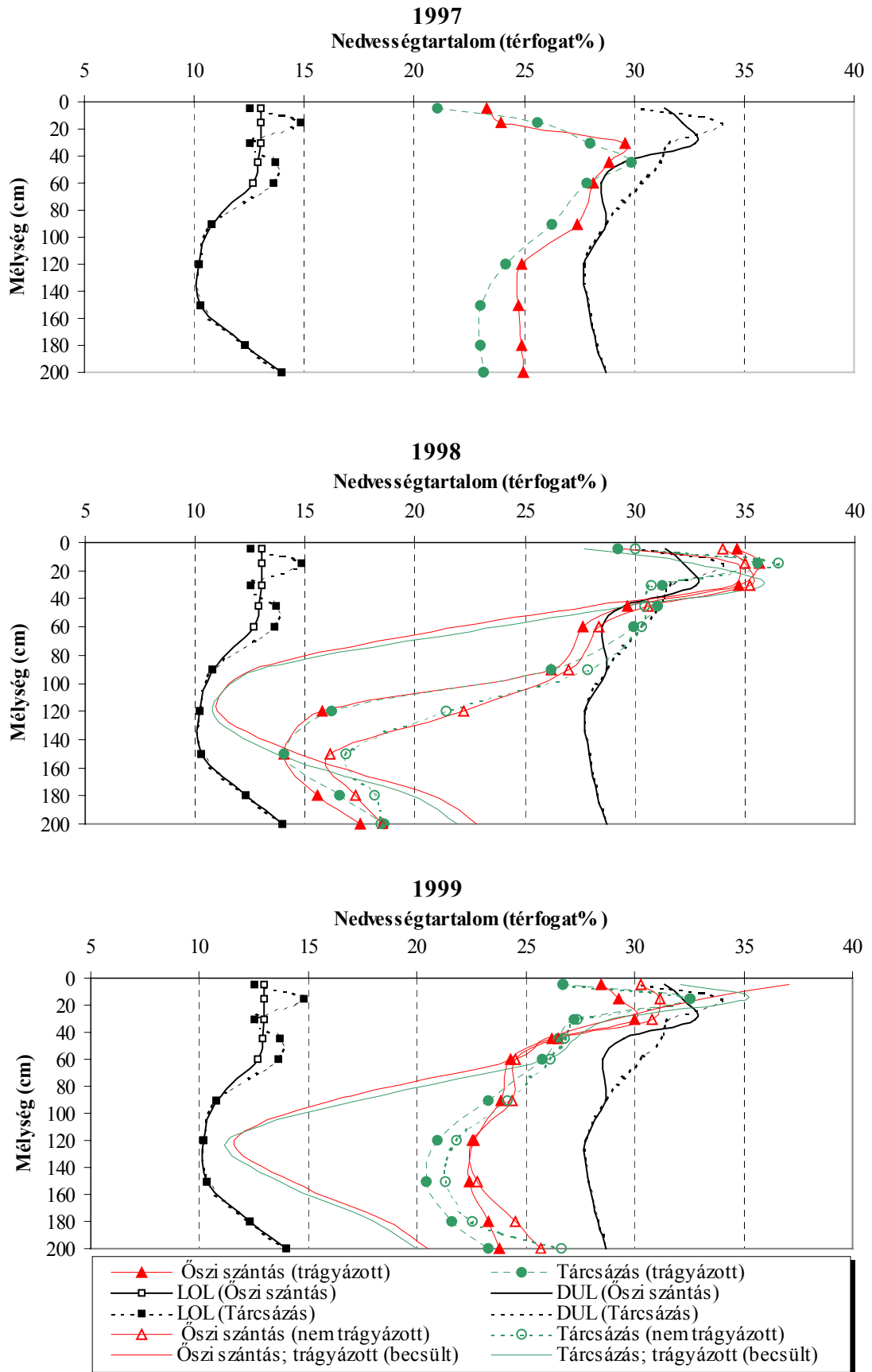
Az 1999-es mérések eredményei szerint az előző év tenyészidőszakának rendkívül csapadékos időjárása mérsékelte a talajszelvény vízhiányát. A talaj felső 40 cm-es rétege – hasonlóan az előző esztendőkhöz – a szabadföldi vízkapacitásig telítődött nedvességgel. A mélyebb, 120-140 cm-es szelvényben ismét kimutatható volt a közbülső száraz réteg, amely az elmúlt évi növényállomány gyökérzetének aktív vízfelvételét bizonyítja. E réteg nedvességtartalma azonban csak 21-23 térfogat %-ig csökkent (a VK_{sz} 73-80 %-a), tehát nem érte el a korábbi kiszáradás mértékét. Az egyes talajművelések között csak a szelvény mélyebb, 100-150 cm-es rétegében mutattunk ki szignifikáns eltérést a talaj nedvességtartalmát illetően. A két művelésmód között trágyázva 21 mm, a trágyázatlan parcellákon 17 mm nedvességkülönbséget mértünk a 2 m-es talajszelvényben. A műtrágyázás hatására őszi szántásban 15 mm-rel, tavaszi sekélyművelésben 19 mm-rel csökkent a felvehető nedvességkészlet, azaz a szántás nélküli trágyázott parcellák talaja a többi kezeléshez képest kevesebb nedvességet tartalmazott. Az egyes talajművelési és trágyakezelések között az alábbi növekvő sorrend alakult ki a talaj nedvességtartalmára vonatkozóan: tavaszi sekélyművelés (trágyázott) < tavaszi sekélyművelés (trágyázás nélkül) = őszi szántás (trágyázott) < őszi szántás (trágyázás nélkül).

1999-ben a modell által számított értékek a felső, 0-60 cm-es szelvényben egyik talajművelési kezelés esetén sem különböztek a mért talajnedvességi adatoktól. A görbék

lefutása azonban lényegesen eltért a mért értékektől a mélyebb rétegekben. A modell által becsült értékek – az előző évhez hasonlóan – a mérésekhez képest jóval kevesebb nedvességet jeleznek ebben a rétegben, az eltérés a művelés módjától és az egyes rétegektől függően 3-11 tf%, azaz mintegy 75-95 mm volt.

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

A szimulációs vizsgálatok eredményei szerint a talaj felső 60 cm-es rétegének tavaszi nedvességtartalma elfogadható pontossággal becsülhető a modell segítségével. A mélyebb rétegekben viszont a modell jelentősen alulbecsli a mért értékeket. Az eltérés oka valószínűleg az, hogy a modell nem veszi figyelembe a vizsgált 2 m-es talajszelvénybe alulról és oldalról érkező többlet vízmennyiség hatását. A vízmérleget jelentősen módosító felfelé és oldalra irányuló vízmozgás hatásainak megbízható tisztázásához a jövőben a kísérleti terület vízforgalmának részletes, elsősorban az őszi, téli időszakra kiterjedő vizsgálatára lesz szükség.



6. ábra. A talaj tavasszal mért nedvességtartalma (1997-1999)

4.2. A talaj ásványi nitrogén készlete a szimuláció indulásakor

Az 1997-től 1999-ig tartó mérési időszakban a talaj ásványi nitrogénkészletén belül az ammónium-N és a nitrát-N vetést megelőző, szelvénybeli eloszlását vizsgáltuk. A mérés során kapott értékek a talaj nedvességekészletéhez hasonlóan input adatként szolgálnak a szimulációs modell számára. A talaj műtrágyázott körülmények között mért nitrát- és ammónium-N koncentrációját a tavaszi induló nedvességekészlet leírásánál vázolt szimulációs eljárás során kapott értékekkel is összehasonlítottuk 1998-ban és 1999-ben. A vizsgált időszak kiindulási nitrát- és ammónium-nitrogén tartalmának szelvénybeli eloszlását a 7-8. ábra mutatja be.

1997-ben az őszi szántott és a tavaszi sekélyművelésű területek trágyázott parcelláiból vettünk mintát. Őszi szántás esetében az ásványi N jelentős része a talaj felső, 0-60 cm-es rétegében halmozódott fel, a 0-90 cm-es talajszelvény kumulált nitrát-N tartalma 223 kg, ammónium-N készlete 64 kg volt egy hektárra vetítve. A felhalmozódás az őszi nitrogéntrágyázás természetes következménye és arra mutat, hogy a szántott kezelésben nincs jelentős denitrifikáció.

A forgatás nélküli, tavaszi sekélyművelésnél viszont mintegy 130 kg ha⁻¹-ral kevesebb ásványi nitrogént mértünk a talaj felső 90 cm-es rétegében. Ilyen különbséget elméletileg a denitrifikáció, az immobilizáció és a kimosódás okozhat. A nitrogénhiány lehetséges okait a modell őszi, téli futtatása révén lehet ellenőrizni. A talaj 90 cm-nél mélyebb szelvényében nem volt jelentős eltérés a kukorica számára könnyen felvehető ásványi N-formák mennyiségét illetően a két talajművelési eljárás között.

1998-ban a két talajművelési változat műtrágyázott és műtrágyázás nélküli kontroll parcelláit is bevontuk a vizsgálatba. Trágyázás nélkül a talajművelésnek nem volt hatása a talajszelvény ásványi N-formáinak mennyiségére. Az ammónium- és a nitrát-N eloszlása egyenletes volt, a mélyebb rétegekben sem mutatott felhalmozódást, mindkét N-forma mennyisége fokozatosan csökkent a szelvény mélységéig. A szántásos talajművelési változat esetében az őszi kijuttatott NO₃-N nem halmozódott fel a felszínhez közeli rétegekben, hanem a kijuttatott mennyiség egy része a tél folyamán, valamint kora tavasszal hullott, nagy mennyiségű csapadék hatására a 30-40 cm-es talajrétegbe mosódott le. A NO₃-akkumuláció csúcsát a 40 cm-es rétegben találtuk meg. A felső 0-90 cm-es réteg nitrát-N tartalma 240 kg ha⁻¹-t ért el. Műtrágyázás hatására kismértékben emelkedett a talajszelvény NH₄-N tartalma. Az ammónium-N mennyisége fokozatosan csökkent a talaj felszínétől a szelvény alsóbb rétegei felé haladva, a 0-90 cm-es rétegben összesen 93 kg ha⁻¹-t mértünk.

Tavaszi sekélyművelés esetén a felső 90 cm-es szelvény ásványi-N tartalma a szántott kezeléshez képest jóval alacsonyabb volt, annak csak mintegy 2/3-részét érte el. A hiányzó ásványi-N mennyisége 80 kg (NO₃) illetve 30 kg (NH₄) volt hektáronként.

Az 1997/98-as év őszi-téli, illetve kora tavaszi időszakában elvégzett szimuláció eredményei szerint őszi szántás esetén a modell által becsült tavaszi NO₃-N értékek megfelelő egyezést mutatnak a mért adatokkal a teljes 2 m-es talajszelvényben. Forgatás nélkül a modell által szimulált NO₃-N értékek mintegy 3-5 mg kg⁻¹-mal meghaladták a mért adatokat a 20-40 cm-es rétegben, míg a mélyebb, 60-100 cm-es szelvényben a modell a tényleges nitráttartalomnál 4-5 mg kg⁻¹-mal becsült alacsonyabb értékeket. A felső 90 cm-es talajréteg modell által becsült NO₃-N összes mennyisége viszont a szántás nélküli kezelésben is jól közelítette a mért értéket.

A modell becslése szerint a vizsgált talajszelvényből az őszi, téli, időszak folyamán nem mosódott ki NO₃-N egyik talajművelési kezelés esetén sem, viszont jelentős, a kiszórt műtrágya mennyiségének 30 %-át meghaladó mértékű denitrifikáció lépett fel a szántás nélküli kezelésben. A denitrifikációval nagy mennyiségű nitrát-N alakult a kukorica számára nem hasznosítható elemi nitrogénné, ami megmagyarázza a tárcsázott kezelés negatív nitrogénmérlegét.

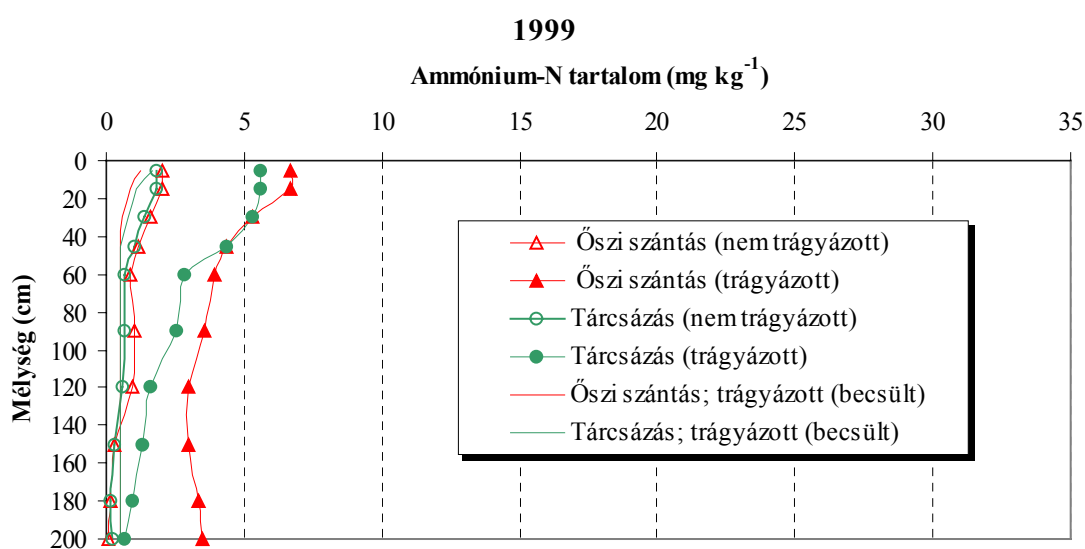
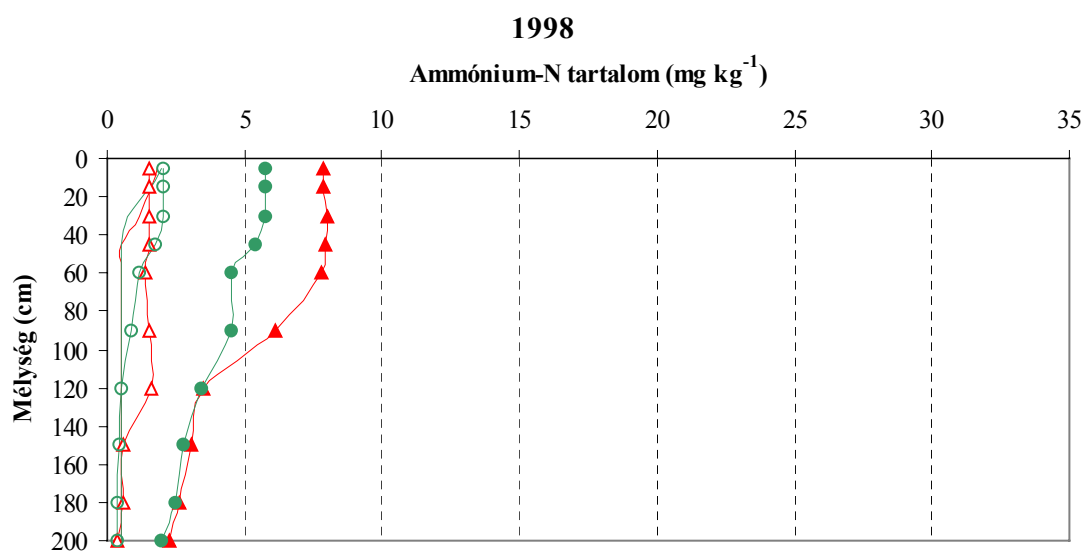
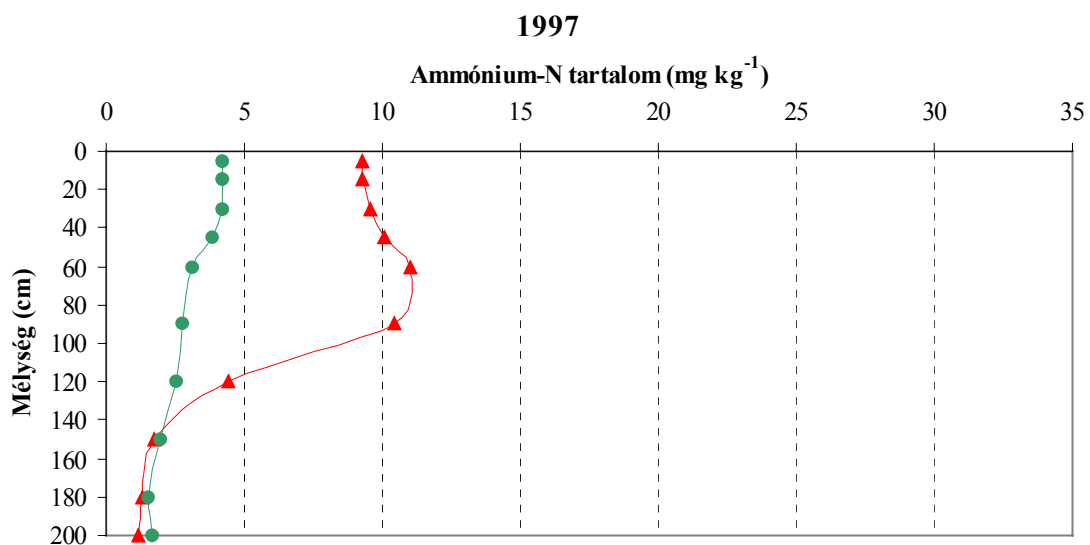
A modell által becsült és mért NH₄-N mennyisége jelentős mértékben különbözött mindkét művelés esetén. A trágyázott kezelések modellezett értékei a kontroll parcellákon mért ammónium-N mennyiségéhez álltak közelebb, a kísérletben mért mennyiség mintegy 15%-át érték csak el. A szimulációs futtatások alapján az ammónium-N nagy része a nitrogén műtrágya kijuttatását követő 2-3 hét elteltével nitrifikálódott.

Az 1999-es év ásványi-N profiljainak elemzését követően 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. Az őszen kijuttatott műtrágyában található nitrogén a vizsgálat időpontjában a talaj felső, 40 cm-es rétegében a kumulálódott mindkét művelésnél. A trágyázott parcellákon a művelés hatására a szelvény teljes mélységében markáns eltérések alakultak ki. A talaj felső 90 cm-es rétege közel 68 kg ha⁻¹-ral kevesebb NO₃-N-t tartalmazott a szántás nélküli, tavaszi sekélyművelésben, míg az NH₄-N mennyisége igazolhatóan nem különbözött a két talajművelésnél.

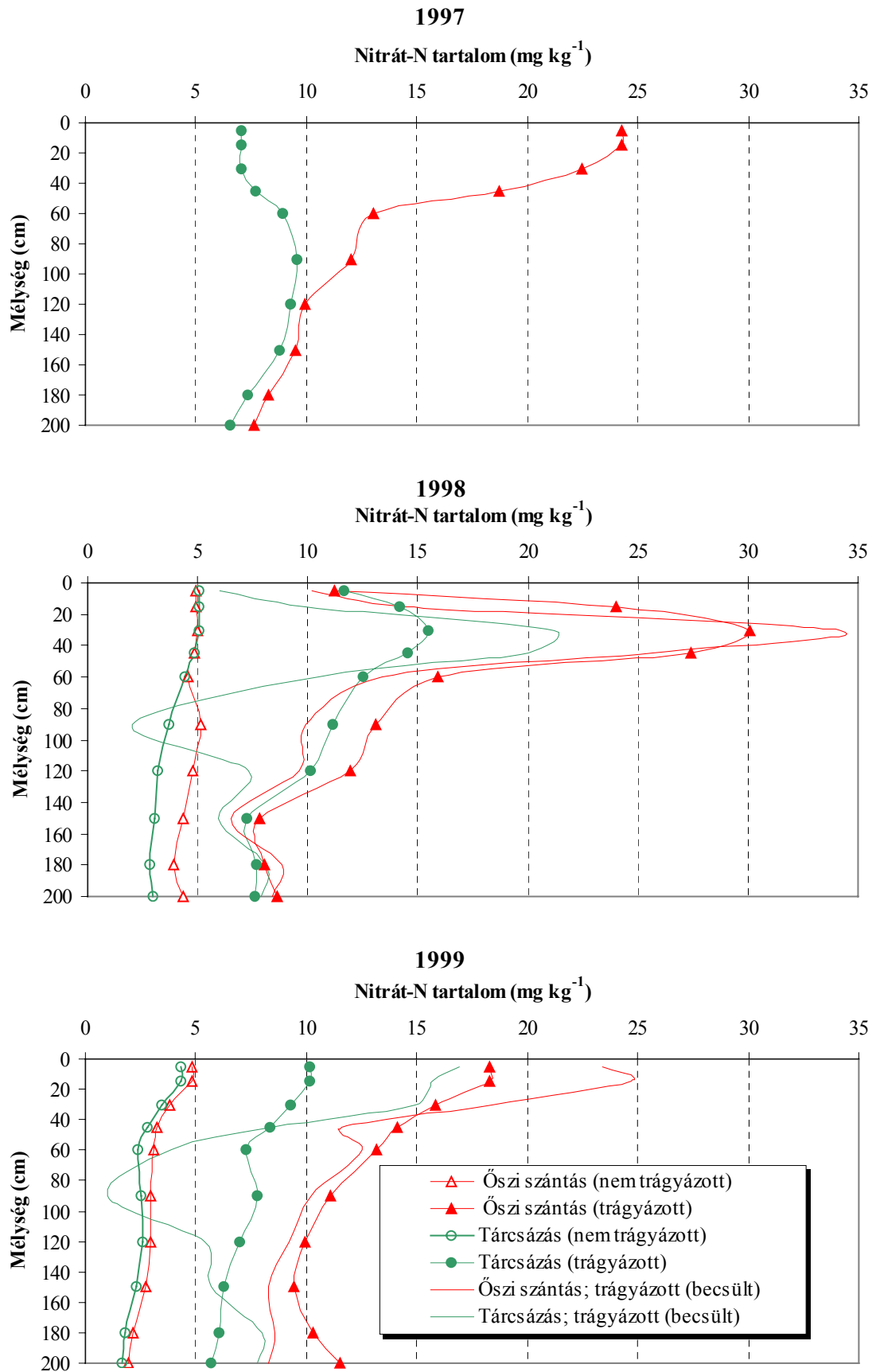
A modell által becsült vetés előtti nitrát-N értékek kismértékben mindkét talajművelés esetén meghaladták a mért értékeket a felső 20-25 cm-es talajrétegben. A mélyebb rétegekben a modell nagyon pontosan követte a mért nitrát-N koncentrációkat őszi szántás esetén, míg a tavaszi sekély tárcsás kezelés 60-120 cm-es szelvényében a becsült értékek mintegy 6-7 mg kg⁻¹-mal alacsonyabbak voltak a kísérletben megállapítottnál. A 120 cm-nél mélyebb rétegekben ebben a kezelésben is kellően pontos volt a nitrát-N koncentrációra adott becslés. A felső 90 cm-es talajszelvény összes nitrát-N tartalmát mindkét talajművelési kezelés esetén elfogadható pontossággal becsülte a modell. A szimulációs vizsgálat 1999-ben is komoly mértékű denitrifikációt igazolt a szántás nélküli kezelésben, a modell nitrát kimosódást nem jelzett a 2 m-es talajszelvényből.

Az ammónium-N kísérletben mért mennyiségét az 1998-as évhez hasonlóan alulbecsülte a modell 1999-ben is. A modell becslése alapján az NH₄-N jelentős része a nitrifikáló baktériumok tevékenysége révén a talajszelvény nitrát-N készletét gyarapította.

A vizsgált időszak mérési eredményei szerint műtrágyázott körülmények között a különböző mélységű talajművelési kezelések jelentős mértékben befolyásolják a talaj ásványi N-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 nitrogénvesztés a 15-20 cm-es szelvényben kialakult, károsan tömörödött talajréteg, illetve a szabadföldi vízkapacitást tartósan meghaladó talajnedvesség által okozott levegőtlen talajállapotra vezethető vissza.



7. ábra. A talaj ammónium-N készlete a szimuláció kezdetén



8. ábra. A talaj nitrát-N készlete a szimuláció kezdetén

4.3. Talajművelés hatása a kukorica egyedi szemtermés-produkciójára és a növény-számra

Talajművelési kísérletnél az egységnyi területre vetített termések összehasonlítása önmagában nem mindig ad elegendő információt a kezeléshatások elkülönítésére. Nagyobb biztonságot nyújt ezért a kezelések komplex értékelésénél, illetve szétválasztásánál, ha a termés várható értéke mellett külön-külön vizsgáljuk meg annak összetevőit, a növényszámot és az egyedi szemtermés-produkciót. A talajművelés mindkét tényezőt módosíthatja. A szimulációs modell futtatása előtt a fenti terméskomponensek összefüggéseit elemeztük, majd az egyes parcellákon meghatározott növényszámok 1 ha-ra vetített átlagértékeit bemenő (input) paraméterként a modell kísérleti adatállományába (*.mzx file-ok) építettük be.

Mind az egyedi produkciót, mind a növényszámot a betakarítást közvetlenül megelőzően mértük. A 9. és 10. ábra a megvizsgált két kukorica-hibrid betakarításkor mért egyedi szemtermés-produkcióját mutatja a talajművelés függvényében két különböző növényszám és műtrágyázási szint mellett. (Az oszlopdiaagramon függőleges vékony vonalakkal jelöltük az egyedi produkció szórását.)

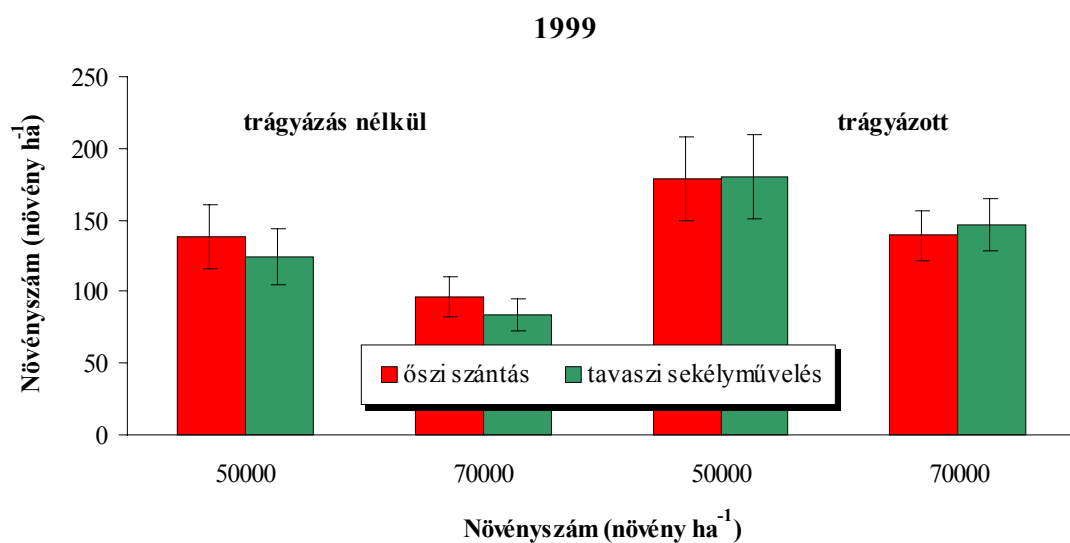
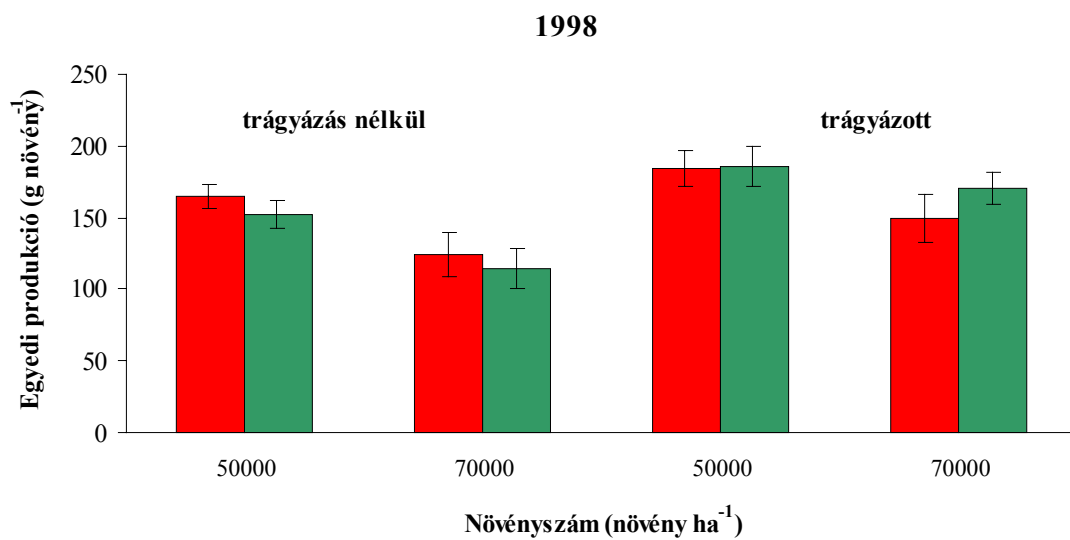
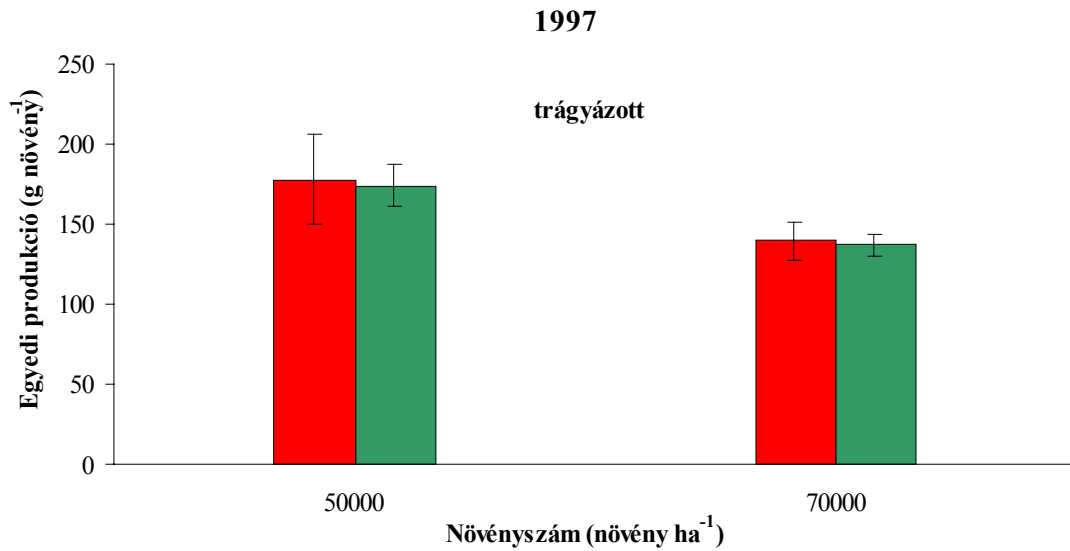
1997-ben a megvizsgált hibridek egyedi produkciójában nem találtunk szignifikáns különbséget a talajművelési kezeléseket összehasonlítva. A hibridek egy növényegyedre jutó termését viszont az állomány sűrítése jelentős mértékben módosította. Az egyedi produkció a talajművelés módjától és a hibridektől függően mintegy 21.3-21.9 %-kal volt kevesebb a sűrűbb, hektáronként 70000-es növényszámú parcellákon. Az egyedi produkció szórása két kiugró értéktől eltekintve homogén volt, sem a talajművelés módja, sem az alkalmazott növény-sűrűség eltérő szintjei nem okoztak következetesen kisebb vagy nagyobb szórást.

1998-ban – az előző évhez hasonlóan – mind az őszei szántott, mind a tavasszal sekélyen művelt parcellákon, ugyanazon trágyaszint és növény-sűrűség mellett, közel azonos egyedi szemtermés-produkciót mértünk. A hibridek egyedi produkciója az eltérő művelésű parcellákon statisztikailag igazolhatóan nem különbözött. Szignifikánsan növelte viszont az egyedi produkciót a javuló tápanyag-ellátottság. Műtrágyázás hatására mindkét talajművelési eljárás parcellái, illetve mindkét vizsgált növény-szám esetében igazoltan nőtt az egyedi szemtermés. A hektáronkénti növény-szám növelésével és az egyedi tenyésztési terület csökkenésével párhuzamosan megbízhatóan alacsonyabb egyedi produkciót mértünk. Az egyedi produkció szórása egyöntetűen homogén volt a vizsgált kezelésekben. A 9. és 10. ábrák jól érzékeltetik, hogy az egyes trágyázási, talajművelési kezeléseknél, illetve

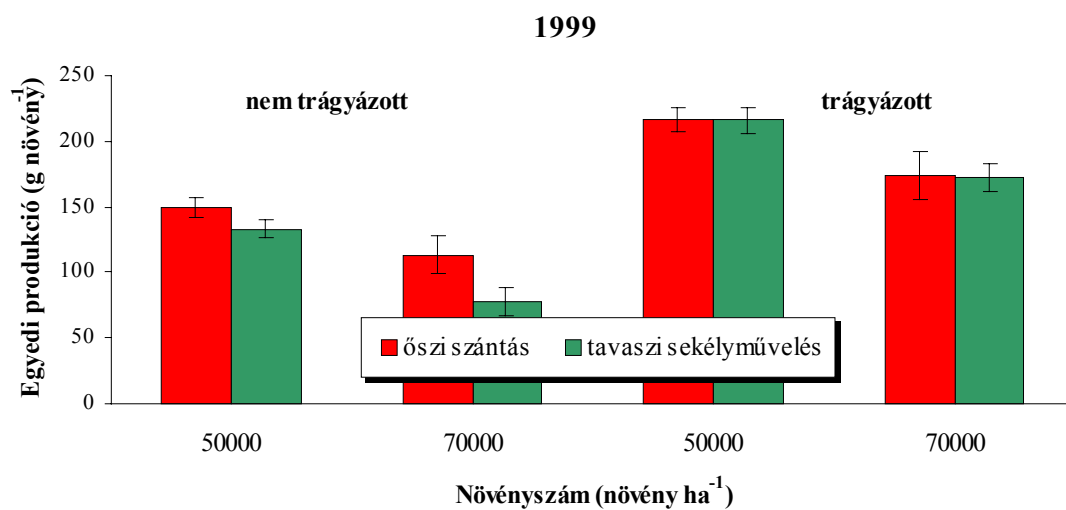
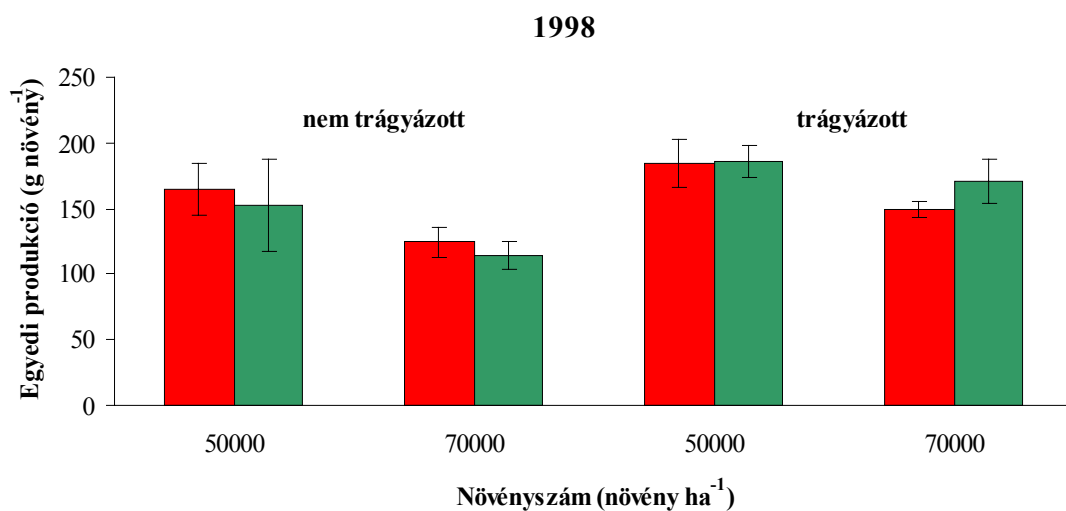
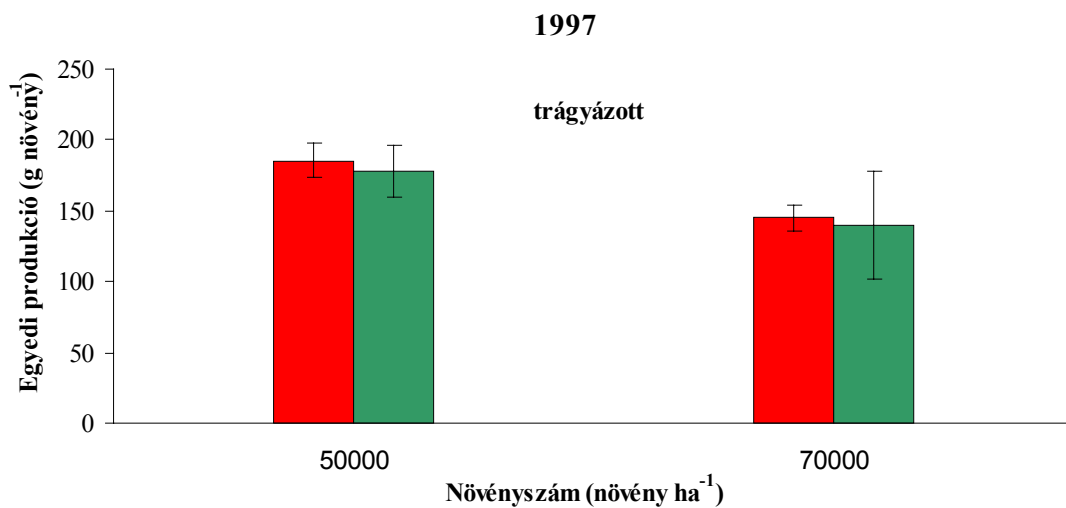
növényszám szinteken mért szórásértékek között egyik hibrid esetén sincs jelentős eltérés. A kezelések átlagában a DE 377 SC egyedi produkciójának a szórása ± 13.3 g növény⁻¹ volt szántott parcellák esetében, míg a szántás nélküli sekélyművelésnél ± 12.8 g növény⁻¹ értéket mértünk. A DK 471 SC ugyanezen adatai ± 13.7 , illetve ± 16.3 g növény⁻¹ voltak.

Az 1999-es esztendő adatainak elemzése során megállapítottuk, hogy a talajművelésnek csak a DK 471 SC hibrid természetes tápanyag-ellátottságú, 70000-es hektáronkénti növénydenzitású parcellái esetében volt szignifikáns hatása a kukorica egyedi produkciójára. A mért, egy növényre jutó szemtermés ennél a hibridnél őszi szántásban volt megbízhatóan nagyobb. A műtrágyázás és a növényszám egyedi produkcióra gyakorolt hatása megegyezett az 1998-ban tapasztaltakkal. A mért szórás az egyes kezelésekben nem különbözött, azonban a két hibrid szórásértékei a kezelések átlagában eltértek egymástól. A De 377 SC hibrid szórása (± 20.3 g növény⁻¹) közel kétszerese volt a másik genotípus szórásának.

Az 1997-1999-es időszak eredményei szerint a kukorica egyedi szemtermés produkciójára csak a műtrágyázás és a növényszám volt szignifikáns hatással, 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 szórás-különbségek a véletlennek tulajdoníthatóak, vagy a mintavételből eredő hibának tekinthetőek.



9. ábra. Talajművelés hatása a Debreceni 377 SC kukorica hibrid egyedi szemtermés-
produkciónak



10. ábra. Talajművelés hatása a DeKalb 471 SC kukorica hibrid egyedi szemtermés-
produkciónak

A talajművelés növényszámra kifejtett hatását a 11-12. ábrák szemléltetik. (Az ábrákon a statisztikai vizsgálatok alapján számított szórások értékét az oszlopok tetejére húzott egyenes vonal hossza mutatja.) A növényszámot mindkét talajművelési változatban betakarításkor határoztuk meg. A kísérleti telep által megadott adatok szerint a vetőgépen beállított és kivetett szemek mennyisége 1 hektárra vetítve 52632, illetve 72296 db volt. A vizsgálatba bevont kísérleti parcellák alapterülete 15.2 m², tehát a fenti vetési paraméterek alapján a kivetett elméleti csíraszám 80, illetve 110 db növényegyed volt parcellánként. Ezek a számok természetesen nem azonosak a ténylegesen kikelt növények számával, mivel még nem vettük figyelembe a vetőmag használati értékét. A használati érték, ha a vetőmag teljesen tiszta, a csírázási százalékkal egyezik meg. A használati értéket, azaz a várható kelést 95 %-nak vettük, mivel a kísérletben használt hibridek vetőmagja kifogástalan, jó minőségű volt. A 95 %-os kelési valószínűséget alapul véve várhatóan 50000, illetve 68 680 db növényegyed lesz egy hektáron. Parcellaegységre vetítve ez 76, illetve 104 db növényt jelent. A fenti értékek még mindig az „elméleti kelés” kategóriájába sorolhatóak, mivel a talajművelés módja, mélysége, a magágykészítés, a magágy minősége befolyásolhatja a kikelt növények számát, s így az egységnyi területre eső tényleges növényesűrűséget. A szántóföldön mért kelés referencia szintjeként tehát a 95 %-os kelési valószínűséget vettük alapul, ezekhez az értékekhez viszonyítottuk a parcellákon betakarításkor mért növényesűrűséget.

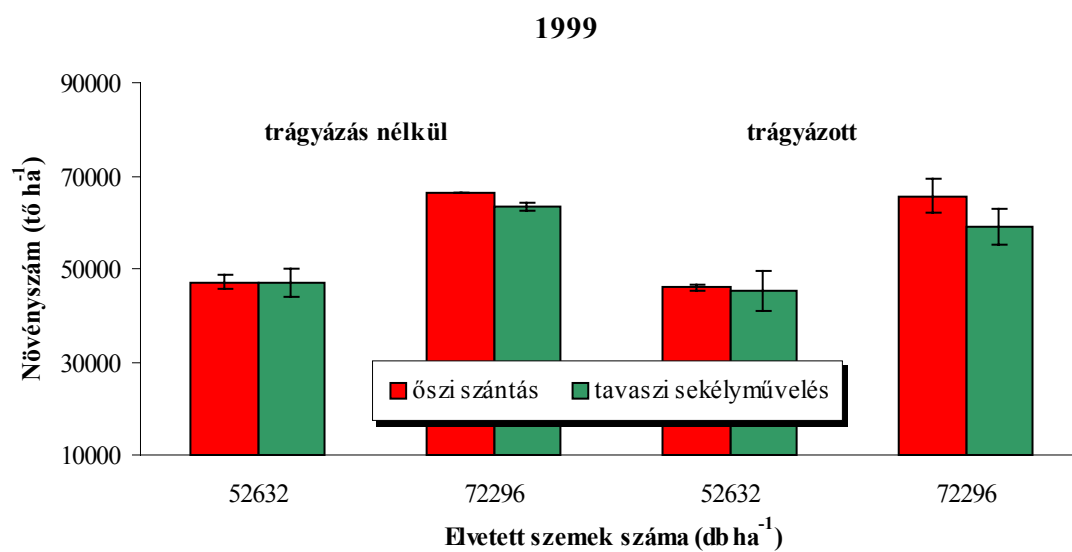
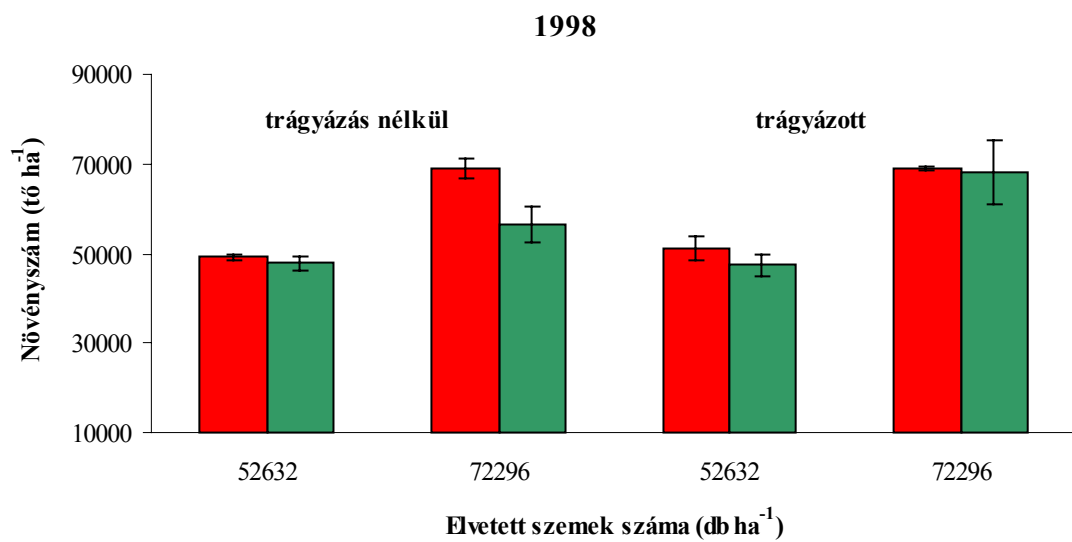
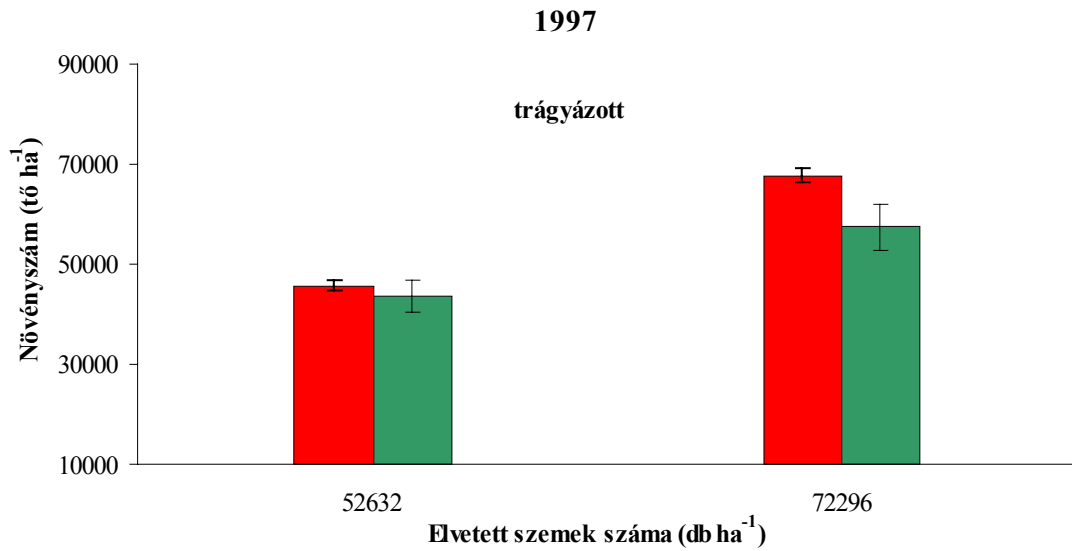
1997-ben a parcellákon mért növényesűrűség csak kis mértékben tért el az elméletileg kikelt növények számától őszi szántás esetében; a szórás is minimális volt, mindössze 0.6-3.0 tő parcella⁻¹ eltérést mértünk. A forgatás nélküli, tavaszi sekélyművelésnél a mért növényesűrűség 9-16 %-kal maradt el az elméleti értékektől, emellett a növényállomány kiegyenlítetlensége is szembetűnőbb volt. A kelés egyenetlensége miatt az egyes ismétlések közötti különbség parcellánként átlagosan 5 növény volt. A két talajművelésben mért tőszám statisztikailag igazolhatóan különbözött, a termő tőszám eltérése a hektáronkénti 30000 db-ot is a De 377 SC 70000-es növényesűrűségű kezelésénél.

1998-ban a betakarításkor meghatározott tőszám mindkét genotípus esetén őszi szántásnál állt közelebb a 95 %-os szántóföldi kelésből származtatott elméleti növényesűrűséghez. A parcellákon mért szórás az előző évhez képest valamivel szélesebb sávban, $\pm 2.1-2.3$ tő parcella⁻¹ között mozgott. A tavaszi, szántás nélküli művelés esetében mért növényesűrűségek megbízhatóan kisebbek voltak a De 377 SC 70000 növényesűrűségű, valamint a DK 471 SC hektáronkénti 50000-es növénydenzitású parcelláin. A két talajművelési eljárás közti átlagos eltérés parcellára vetítve 11-19 tövet, hektárra számítva pedig 7200-12500 tövet jelentett. A

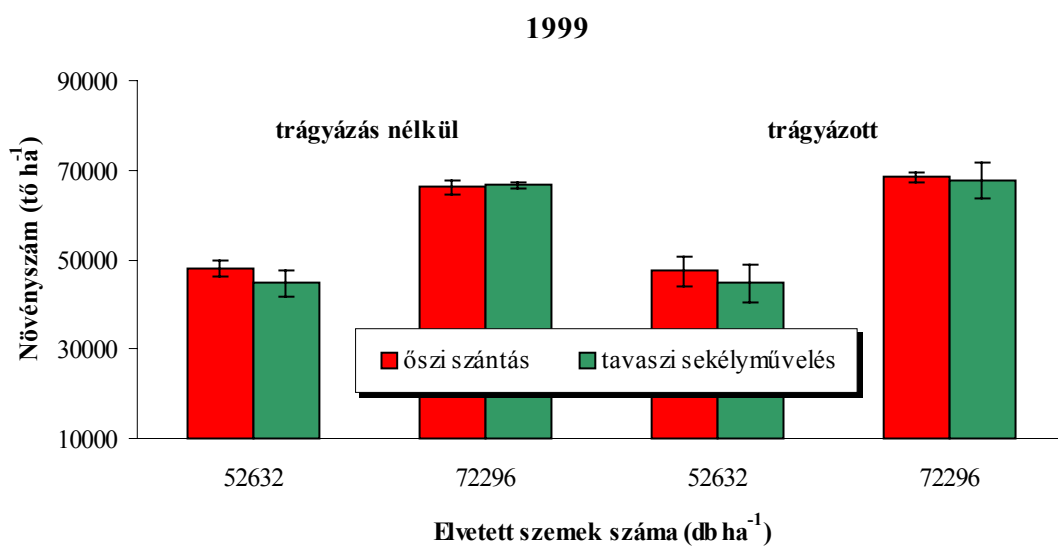
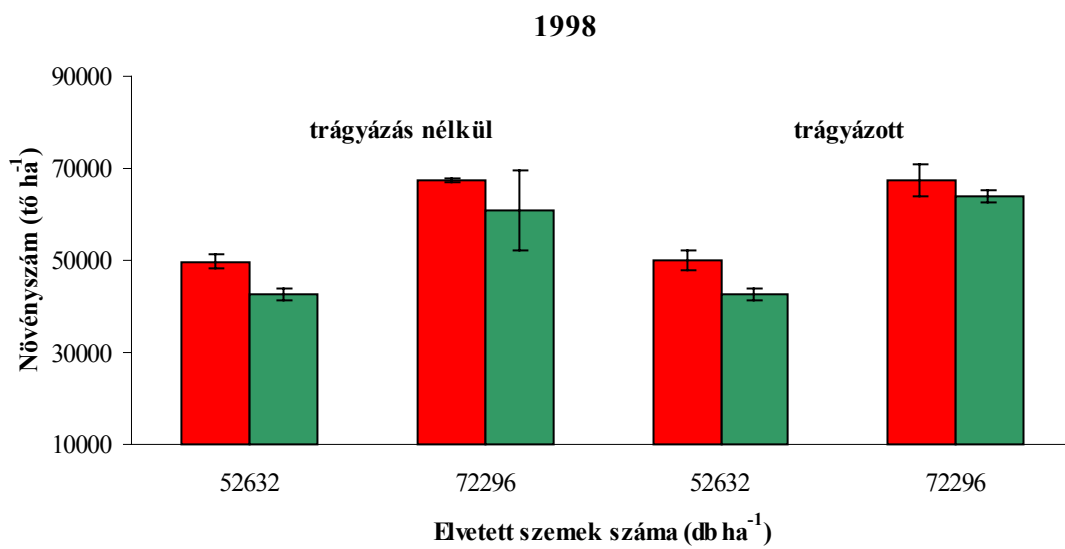
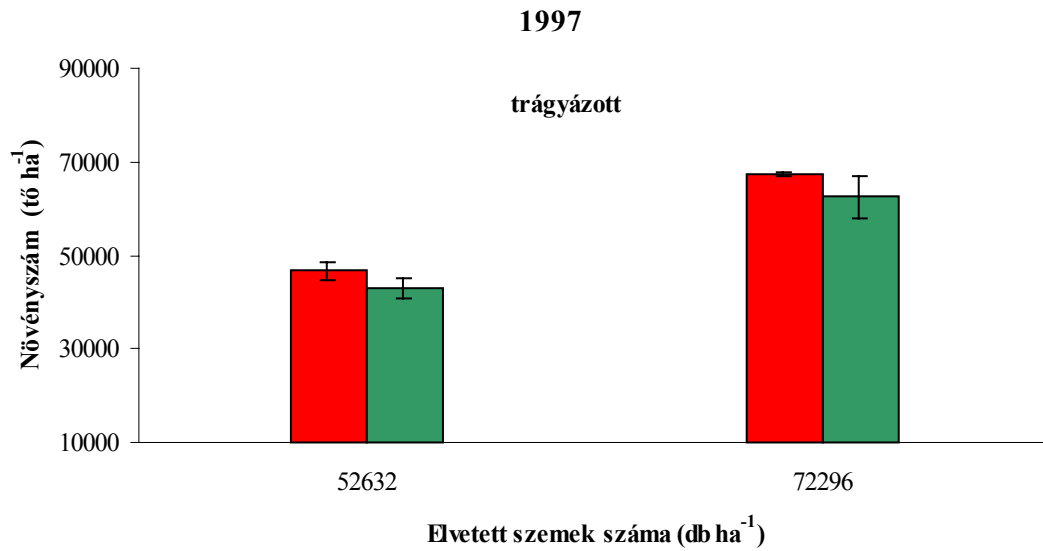
termő tőszám szántás nélkül nagymértékben különbözött az egyes ismétlésekben, a parcellák szórása igen tág intervallumban mozogva ± 5.3 tő volt a kezelések átlagában (szélső értékek 2.3, illetve 13.3 tő parcella⁻¹).

1999-ben az elméletileg lehetséges növény-sűrűséghez képest, a genotípustól és a kezelések szintjétől függően mintegy 3-8 %-kal volt alacsonyabb a betakarításkori tényleges növény-szám őszi szántásnál, míg szántás nélkül ez az érték 1-14 % volt. Ebben az esztendőben a talajművelési eljárások között megbízható különbséget nem mutattunk ki. A szórások elemzése során megállapítottuk, hogy a szántott parcellákon mért tőszám átlagtól való eltérése kismértékben nőtt az előző évekhez képest (2.1-5.5 tő parcella⁻¹), míg sekély tavaszi művelésnél a szórás mértéke továbbra is magas szinten maradt (1.2, illetve 10.0 tő parcella⁻¹).

A növény-számmal kapcsolatos vizsgálataink szerint az eltérő talajművelési módok jelentős mértékben befolyásolták az egységnyi területre eső növény-sűrűséget. Az 1997-től 1999-ig terjedő, három évet felölelő időszakban a mért növény-sűrűség őszi szántás esetében megegyezett az elméletileg kikelt növényegyedek számával, tehát a 95 %-os szántóföldi kelési valószínűséggel. Szántás nélküli, tavaszi sekély alapművelésnél 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 amellet, hogy a csírázást és az egyöntetű, gyors kelést késlelteti, rendkívüli mértékben megnehezíti a vetést is. A kísérletben alkalmazott, hagyományos vetőgép csoroszlói nehezen birkóztak meg a sokszor csak részben aprított, nagy mennyiségű szármaradvánnyal, s ennek nagyszámú kimaradó növény, azaz „foltos vetés” lett a következménye.



11. ábra. Talajművelés hatása a növényszámra (Debreceni 377 SC)



12. ábra. Talajművelés hatása a növényszámra (DeKalb 471 SC)

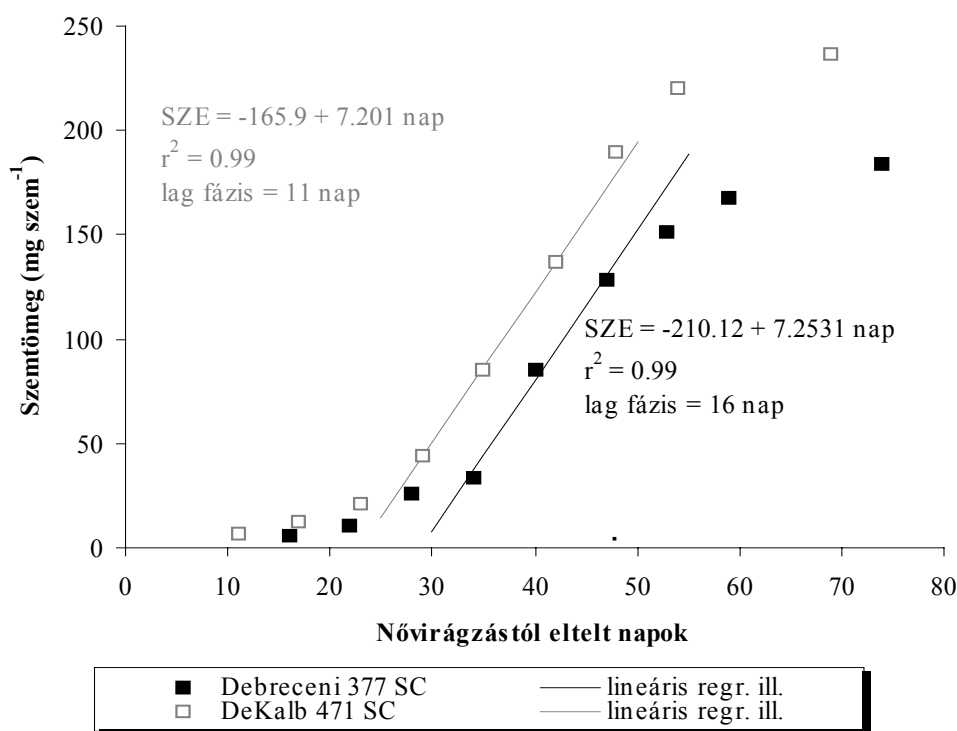
4.4. A modell kalibrálásához szükséges genetikai paraméterek megállapítása

A szimulációs modellek, így a Ceres-Maize modell adaptálásának első lépcsőjét is a kalibrálás, azaz a fenológiai fázisok, illetve a tesztnövény 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 optimális ökológiai körülmények között. A koefficiensek ún. kapacitás paraméterek, azaz optimális esetben veszik fel a megadott értéket, ettől eltérő ökológiai környezetben értékük kisebb lesz. Létezik azonban néhány olyan paraméter is (a kukorica esetében a P2), amelyet szántóföldi körülmények között nagyon nehéz megállapítani, mivel a méréshez szabályozott viszonyokra, komoly műszeres technikai háttérre van szükség (fitotron).

A 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 P1-es és P5-ös genetikai koefficiens meghatározásához a modell ún. érzékenységi tesztjét (sensitivity test) használtuk. Mivel mindkét paraméter a kukorica egy-egy növekedési, fejlődési fázisában meghatározott, adott bázishőmérséklettel számított kumulált hőösszegét jelenti ($^{\circ}\text{C nap}$), ezért precíz beállításuk csakis a kísérleti helyszínről származó fenológiai jellemzők időpontjainak ismeretében lehetséges. E fenológiai jellemzők a P1-es paraméter esetében a növirágzás ideje, míg a P5-ös koefficiensnél a fiziológiai érettség időpontja, ami egyben a fekete réteg megjelenését is jelenti. Az érzékenységi vizsgálat során mindig egy paramétert módosítottunk, míg a többi ezen idő alatt változatlan maradt. (A fenológiai fázisok változtatására nagyon érzékenyen reagál a modell. Már néhány napos eltérés esetén is nagyobb hibával becsli a termést és más változókat.) 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.



13. ábra. Maximális szemtelítődési sebesség meghatározása

A G3-as koefficiens megállapításához a szemtelítődés behatóbb vizsgálata szükséges. Méréseink szerint a szemtelítődés dinamikája őszi szántás esetén 50000 tő ha⁻¹ növényszám alkalmazása mellett volt legintenzívebb mindkét hibridnél, tehát ez a kombináció biztosított optimális feltételeket a szárazanyag akkumulációjához. A genetikailag determinált, maximális szemtelítődési sebesség értékének meghatározását ezért a fenti, optimális kezelésben végeztem el. A 13. ábra a vizsgálatokban szereplő két genotípus szemtelítődési dinamikáját mutatja a nővirágzástól eltelt napok függvényében. A két hibrid közötti különbség a virágzás és a biológiai érettség eltérő időpontja mellett a szemtelítődés eltolódásában is megmutatkozott. A nővirágzás a kérdéses kezelésben július 11-én (De 377 SC), illetve július 13-án (DK 471 SC) következett be. A nővirágzástól kezdve 6-7 napos időközökben szedett szemminták alapján a szemtelítődés lappangás fázisa (lag periódus) a De 377 SC-nél volt hosszabb. Így annak ellenére, hogy a hibrid nővirágzása előbb jelentkezett, a szemek szárazanyag-beépülése mégis késéssel indult. 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. A 13. ábráról

leolvasható, hogy ez az érték a De 377 SC hibridnél 7.25, míg a DK 471 SC hibrid esetén 7.20 mg nap⁻¹ szem⁻¹ volt.

Az egy csövön lehetséges maximális szemszámot (G2-es koefficiens) a szántóföldi mérések során szedett, növényi minták analíziséből határoztuk meg. A vizsgálatok keretében a tenyésztési időszak folyamán több alkalommal mértük a hibridek szemszámát (10. táblázat). A genetikailag lehetséges, maximális szemszámot a nővirágzást követő 1-2 hét folyamán lehet a legpontosabban meghatározni optimális időjárási feltételek mellett. A maximális szemszám módosul a kísérletben alkalmazott növénytermesztési tényezők, valamint a talaj rendelkezésre álló tápanyag- és vízkészletének függvényében. A legnagyobb szemszámot mindkét genotípus esetében az 50000 tő ha⁻¹ sűrűségű növényállomány jó tápanyag-ellátottságú, műtrágyázott parcelláin mértük. A modell bemenő, input genetikai paraméterét képező maximális szemszám a De 377 SC esetén 750, míg a DK 471 SC esetén 830 szem cső⁻¹ volt. A mérhető maximális szemszám nagymértékben csökkent a növény-sűrűség növelésekor, illetve alacsony tápanyagellátottságnál. A talajművelés módja szignifikánsan nem befolyásolta sem a lehetséges maximális szemszámot, sem a szemszám alakulását a tenyésztési időszak során. Valamennyi kezelésben csökkent viszont a szemek száma a tenyésztési időszak folyamán. A virágzás után 1-2 héten belül meghatározott szemszám jelentősen, 10-35 %-kal lett kisebb a 2. mintavétel idejére (szemteltöltés intenzív szakasza), majd ezt követően értéke közel állandó maradt a tenyésztési időszak végéig.

10. táblázat. A De 377 SC kukorica hibrid egy csövön található szemszámának változása az 1998-as év tenyészidőszakában

Őszi szántás				
	50000 növény ha ⁻¹		70000 növény ha ⁻¹	
mérési időpont	nem trágyázott	trágyázott	nem trágyázott	trágyázott
július 27.	684±38	752±16	646±45	725±19
augusztus 27.	581±24	640±28	501±27	583±28
szeptember 23.	590±31	653±32	476±35	613±18
október 7.	579±39	651±24	501±24	610±33
Tavaszi tárcsás sekélyművelés				
	50000 növény ha ⁻¹		70000 növény ha ⁻¹	
mérési időpont	nem trágyázott	trágyázott	nem trágyázott	trágyázott
július 27.	673±38	741±18	679±39	726±29
augusztus 27.	545±25	661±48	479±32	613±40
szeptember 23.	541±45	649±33	464±28	630±34
október 7.	557±30	651±18	488±24	640±42

11. táblázat. A DK 471 SC kukorica hibrid egy csövön található szemszámának változása az 1998-as év tenyészidőszakában

Őszi szántás				
	50000 növény ha ⁻¹		70000 növény ha ⁻¹	
mérési időpont	nem trágyázott	trágyázott	nem trágyázott	trágyázott
július 27.	776±54	824±34	756±51	785±25
augusztus 27.	624±32	737±18	511±34	640±16
szeptember 23.	636±45	745±27	476±39	651±18
október 7.	613±24	755±23	502±37	664±28
Tavaszi tárcsás sekélyművelés				
	50000 növény ha ⁻¹		70000 növény ha ⁻¹	
mérési időpont	nem trágyázott	trágyázott	nem trágyázott	trágyázott
július 27.	795±29	856±21	784±28	821±18
augusztus 27.	612±30	745±22	511±37	656±16
szeptember 23.	631±49	749±22	479±39	667±33
október 7.	615±34	756±36	471±56	667±29

4.5. 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 validálási vizsgálatba a kukorica fenológiai jellemzői közül a szántóföldi kelés, a növirágzás és a fiziológiai érettség kísérleti és becsült adatait; a fontosabb növekedési és fejlődési változók közül a mért és a szimuláció eredményeként kapott szemtermés, a terméselemek, a biomassza, a harvest-index, valamint a levélborítottságot kifejező levélterület-index értékeit vontuk be. Megvizsgáltuk emellett a mért és a modellezett szárazanyag-gyapodás, illetve a levélborítottság tenyészidőszakon belüli változását az 1997-es és az 1999-es év eredményei alapján.

4.5.1. A kukorica fenológiai jellemzőinek becslése

4.5.1.1. Szántóföldi kelés

A szántóföldön termesztett növények, így a kukorica kelésének időpontját is alapvetően a magágy, tehát a talaj felső 5-7 cm-es rétegének hőmérséklete, nedvességtartalma, a vetés mélysége, illetve a magágy minősége határozza meg. Az 1997-1999-es időszakban vetés után 2 naponta végeztünk felvételezést mindkét talajművelési eljárásnál. Az állományszintű kelést a modell becsült értékeivel vetettük össze. A kísérletben mért és a modell által becsült szántóföldi kelés idejének összehasonlítását a 12-13. táblázatban foglaltuk össze.

1997-ben a május 2-ai vetést követően, a várt 8-10 naphoz képest jóval később, a vetés utáni 16. (őszi szántás) és 20. (tavaszi sekély alpművelés) napon regisztráltuk mindkét hibrid kelését. A rendkívül hosszú ideig elhúzódó és egyenetlen kelés a gyenge minőségű, mindkét talajművelési eljárás esetén nagyon száraz, poros, valamint durva, 5-7 cm-es rögökkel tarkított magágyra vezethető vissza. Tavaszi sekélyművelésnél a kelést a talaj felszínén maradt nagy mennyiségű, részben aprítatlan szármaradvány is késleltette. Külföldi szerzők vizsgálatai szintén felhívják a figyelmet erre a problémára (SWAN et al., 1993; BURGESS et al., 1996). Az általunk megfigyelt és a becsült kelési időpontok között jelentős eltérést tapasztaltunk mindkét művelési eljárásnál. A kelés idejét a modell a mért értékekhez képest 6 nappal

korábbra becsülte őszi szántásnál, míg tavaszi sekélyművelés esetén a becslés hibája még nagyobb, -9 nap volt. A hibridek, illetve a növényszám változatok között nem mutattunk ki eltérést.

12. táblázat. A szántóföldi kelés mért és modellezett napja (De 377 SC)

év	kezelés ¹	Őszi szántás			Tavaszi sekélyművelés		
		becsült	mért	eltérés	becsült	mért	eltérés
1997	a	- ²	-	-	-	-	-
	b	130	136	-6	131	140	-9
	c	-	-	-	-	-	-
	d	130	136	-6	131	140	-9
1998	a	141	140	+1	142	142	0
	b	141	140	+1	142	142	0
	c	141	140	+1	142	142	0
	d	141	140	+1	142	142	0
1999	a	139	136	+3	139	138	+1
	b	139	136	+3	139	138	+1
	c	139	136	+3	139	138	+1
	d	139	136	+3	139	138	+1

13. táblázat. A szántóföldi kelés mért és modellezett napja (DK 471 SC)

év	kezelés ¹	Őszi szántás			Tavaszi sekélyművelés		
		becsült	mért	eltérés	becsült	mért	eltérés
1997	a	- ²	-	-	-	-	-
	b	130	136	-6	131	140	-9
	c	-	-	-	-	-	-
	d	130	136	-6	131	140	-9
1998	a	141	140	+1	142	142	0
	b	141	140	+1	142	142	0
	c	141	140	+1	142	142	0
	d	141	140	+1	142	142	0
1999	a	139	136	+3	139	139	0
	b	139	136	+3	139	138	+1
	c	139	136	+3	139	139	0
	d	139	136	+3	139	139	0

¹a, b: nem trágyázott, trágyázott 50000 növény ha⁻¹; c, d: nem trágyázott, trágyázott 70000 növény ha⁻¹; ²nincs adat

1998-ban az április végén, május elején lehullott, nagy mennyiségű csapadék miatt a vetésre eléggé későn, május 11-én került sor. Az ekkor már magas talajhőmérséklet, illetve a jó vízellátottság hatására mindkét művelési eljárásban gyors és egyöntetű kelést tapasztaltunk. A talajművelési módok között mindössze 2 nap volt az eltérés, azaz sekélyművelésnél ennyivel

készt az állomány kelése. A szimulált értékek mindkét művelési eljárás esetén jól követték a mért adatokat, az eltérés minimális volt a becsült és a mért értékek között (+1-2 nap).

Az előnyös környezeti feltételek, az előző évhez hasonlóan jó vízellátottság 1999-ben is kedvezően befolyásolta a vizsgált kukorica hibridek kelését. Tavaszi sekélyművelésnél az állomány kelése csak kismértékben, 2 nappal maradt el a kedvezőbb feltételeket biztosító őszi szántással végzett alpművelés értékétől. A modell által becsült értékek a tavaszi, forgatás nélküli kezelés esetében közelítették meg legjobban a szántóföldön mért adatokat (eltérés: 0-1 nap). A becslés kissé pontatlan volt a szántott alpművelésnél, mivel a modell a ténylegeshez képest 3 nappal későbbre becsülte a kelés időpontját.

Az elvégzett vizsgálatok eredményei szerint a modell pontosan becsli a szántóföldi kelés időpontját, ha a talaj állapota és az időjárási tényezők optimálisak a kukorica csírázásához, kezdeti fejlődéséhez. Ha ezek a feltételek nem teljesülnek, a kelés idejére adott becslés jóval pontatlanabb, a becsült időpont akár 6-10 nappal is eltérhet a ténylegestől. Ennek oka a csírázás és a kelés szimulálásának módjában rejlik.

A modellben két feltétel közül egynek kell teljesülnie ahhoz, hogy a csírázás megtörténhessen. Vagy azon talajréteg nedvességtartalmának kell a holtvíztartalomnál nagyobbak lennie, amelybe a kukoricát vetették, vagy az elvetett szemeket tartalmazó és az alatta lévő talajrétegben mért nedvességtartalom átlagának kell a csírázáshoz elegendőnek lennie. A modell mindkét feltételt megvizsgálja az SWSD változó alapján:

$$SWSD = (SW(L_0) - LL(L_0)) * 0.65 + (SW(L_{0+1}) - LL(L_{0+1})) * 0.35.$$

A képletben SW az adott talajréteg nedvességtartalmát jelenti (tf %), LL a holtvíztartalomnak megfelelő nedvességi érték (tf %), míg L_0 és L_{0+1} az elvetett szemeket tartalmazó és az alatta elhelyezkedő talajréteg. A csírázásra akkor kell számítani a fentiek alapján, ha az SWSD változó nagyobb vagy egyenlő mint 0.02.

A modell a kelés időpontját a következő egyenlet segítségével becsli:

$SUMDTT = 15 + 6 DEPTH$, amelyben: SUMDTT = a vetéstől a kelésig eltelt, a talaj hőmérsékletére vonatkozó és 10 °C-os bázishőmérséklettel számított kumulált hőösszeg (°C nap), DEPTH = a vetés átlagos mélysége (cm).

A fenti képletek alapján tehát egyértelmű, hogy a csírázás idejét a modellben az elvetett szemeket tartalmazó és az alatta elhelyezkedő talajréteg nedvességtartalma határozza meg, tehát a csírázás akkor megy végbe, ha a talaj vizsgált rétegei tartalmazzák a szükséges nedvességet. Azonban a kérdéses rétegek átlagos nedvességtartalmának ismerete önmagában

nem elegendő a csírázás feltételeinek pontos modellezéséhez. A modell nem vesz figyelembe olyan egyéb, fontos jellemzőket, mint a magot körülvevő környezet állapota, a magágy rögzössége, a nedvességtartalom térbeli eloszlása, szármadaradványok stb. Ennek különösen rögzös magágy esetén van jelentősége. A talajművelés módja és a végrehajtás ideje a magágy és a vetés minőségének befolyásolása révén alapvetően megszabja, hogy a vetőmag felületének hány %-a érintkezik a talajjal. A rögzök belsejének nedvességtartalma elegendő lehet ugyan a csírázáshoz, azonban a szemekkel közvetlenül érintkező talajfelület ez esetben igen kicsi. Ha a vetőmag felülete és a talaj részecskéi között létrejövő kontaktus nem megfelelő, annak hiányos, illetve elhúzódo kelés lehet a következménye.

A kelés időpontját viszont a vetés mélysége mellett csak a vetés és a kelés közti időszakban felhalmozódo hőmennyiség szabályozza a modell szerint. Ha a kérdéses időszakban a levegő, s így a talaj hőmérséklete jóval az átlag felett van, ez a körülmény sietteti becsült kelést.

4.5.1.2. Nővirágzás

A nővirágzás idejének pontos becsléséhez a kísérleti helyről, vagy annak közvetlen közeléből származó időjárás adatokra, illetve a hibridekre jellemző P1 és P2 genetikai koefficiensek precíz meghatározására van szükség. A modell léghőmérsékletet használ, a növények viszont a talajhőmérsékletet érzékelik. Ez szükségszerűen becslési hibához vezet. Ha pedig a modell a szimulációhoz szükséges, kezdő talajnedvesség-tartalmat pontatlanul becsli, akkor ez szintén a becsült csírázás, kelés hibáját okozhatja, amely a későbbiekben kihat a nővirágzás és a fiziológiai érettség becslésére is (KINIRY és JONES, 1986).

A szántófoldi kelés megállapításához hasonlóan, a virágzás ideje alatt 2 naponta végeztük az állomány felmérését. A mért és a modell által szimulált adatok összevetését a 14-15. táblázat szemlélteti.

A vizsgálatok alapján, a két kukorica genotípus kísérletben megfigyelt nővirágzásának ideje között a legnagyobb eltérést 1997-ben és 1999-ben mutattuk ki. A hosszabb tenyészidejű DK 471 SC hibrid nővirágzása a kezelések átlagában 3 nappal később jelentkezett mindkét évben. Az 1998-as esztendőben a július második és harmadik dekádjában fellépett, rendkívül magas hőmérséklet (34-37 °C) hatására a kukorica virágzásának üteme felgyorsult, a hibridek közötti genetikai eltérések nem érvényesültek. A talajművelés módja mindkét genotípus virágzását befolyásolta. 1997-ben és 1999-ben a kukorica virágzása tavaszi sekély alapművelés esetén, hibridtől függően 1.5-2 napot késett a szántott kezelés értékeihez viszonyítva, 1998-ban viszont a virágzás időpontja megbízhatóan nem tért el az egyes talajművelési kezeléseknél.

14. táblázat. A nővirágzás mért és modellezett napja (De 377 SC)

év	kezelés ¹	Őszi szántás			Tárcsázás		
		becsült	mért	eltérés	becsült	mért	eltérés
1997	a	- ²	-	-	-	-	-
	b	182	189	-7	182	191	-9
	c	-	-	-	-	-	-
	d	182	191	-9	182	192	-10
1998	a	202	200	+2	202	202	0
	b	202	200	+2	202	201	+1
	c	202	201	+1	202	203	-1
	d	202	201	+1	202	202	0
1999	a	193	192	+1	193	192	+1
	b	193	192	+1	193	193	0
	c	193	193	0	193	194	-1
	d	193	193	0	193	193	0

15. táblázat. A nővirágzás mért és modellezett napja (DK 471 SC)

év	kezelés ¹	Őszi szántás			Tárcsázás		
		becsült	mért	eltérés	becsült	mért	eltérés
1997	a	- ²	-	-	-	-	-
	b	185	192	-7	185	193	-8
	c	-	-	-	-	-	-
	d	185	193	-8	185	194	-9
1998	a	204	203	+1	204	203	+1
	b	204	202	+2	204	204	0
	c	204	203	+1	204	203	+1
	d	204	202	+2	204	203	+1
1999	a	195	194	+1	196	196	0
	b	195	194	+1	196	196	0
	c	195	195	0	196	197	-1
	d	195	195	0	196	197	-1

¹a, b: nem trágyázott, trágyázott 50000 növény ha⁻¹; c, d: nem trágyázott, trágyázott 70000 növény ha⁻¹; ²nincs adat

A kísérletben mért nővirágzás értékeit a modell által becsült értékekkel is összehasonlítottuk. A legnagyobb eltérést 1997-ben kaptuk. A talajművelés módjától és a hibridektől függően, a modell mintegy 7-10 nappal becsülte korábbra a virágzás időpontját. Külföldi vizsgálatok szerint a mért és a modell által becsült adatok között előforduló jelentősebb, 10 vagy több napot meghaladó eltérések többnyire a nővirágzás túlságosan korai időpontra történő becslése miatt léptek fel. E hibák a száraz talajállapot, illetve a nagyon alacsony talajhőmérséklet következtében megkésett csírázásra, kelésre vezethetők vissza (KINIRY és JONES, 1986; BONHOMME et al., 1991; PLANTUREUX et al., 1991). A

vizsgálatban szereplő másik két évben a modell a nővirágzás időpontját mindkét hibrid esetén kellő pontossággal szimulálta, az eltérés mindössze 0-tól 2 napig terjedt a talajművelés módjától függően. A becsült értékek a tavaszi sekély alpművelésű kezelésnél közelítették meg leginkább a kísérletből származó értékeket.

4.5.1.3. Biológiai érettség

A biológiai érettség idejének pontos becslése a nővirágzáshoz hasonlóan csakis hiteles léghőmérsékleti adatokkal, illetve a P5-ös genetikai paraméter pontos beállításával képzelhető el. A P5-ös paraméter a nővirágzástól a biológiai érettségig tartó időszak kumulált hőösszegét jelenti °C nap-ban kifejezve. A biológiai érettség időpontja az ún. fekete réteg megjelenésével esik egybe. A szántóföldi vizsgálatok során mindhárom évben meghatároztuk a fekete réteg megjelenésének idejét, s a kapott időpontokat a modell előrejelzésével hasonlítottuk össze. Az eredményeket a 16-17. táblázat tartalmazza.

A vizsgálatok szerint a két genotípus érésideje a kezelések átlagában mintegy 6-8 nappal tért el egymástól az egyes évjáratokat összehasonlítva. A legnagyobb különbséget 1998-ban regisztráltuk. A kísérletben vizsgált növénytermesztési tényezők, a műtrágyázás, a növényszám és a talajművelés hatására a biológiai érettség időpontja megbízhatóan egyik hibrid esetén sem különbözött.

A kísérleti és becsült adatok összevetése alapján megállapítottuk, hogy a keléshez és a nővirágzáshoz hasonlóan a legnagyobb különbség az 1997-es évben lépett fel. A modell szisztematikusan, mindkét hibrid valamennyi kezelésében mintegy 7-11 nappal alulbecsülte a biológiai érettség tényleges időpontját. A 16. táblázat jól érzékelteti, hogy a következő két évjáratban a modell a De 377 SC kísérletből származó adatait mindkét művelési mód esetén egészen jól szimulálta. A másik genotípusnál viszont a becslés pontossága gyengébb volt, a modell a kezelésektől függően 1-3 nappal korábbra tette a biológiai érettség idejét.

16. táblázat. A biológiai érettség mért és modellezett napja (De 377 SC)

év	kezelés ¹	Őszi szántás			Tárcsázás		
		becsült	mért	eltérés	becsült	mért	eltérés
1997	a	- ²	-	-	-	-	-
	b	244	251	-7	244	252	-8
	c	-	-	-	-	-	-
	d	244	252	-8	244	253	-9
1998	a	270	269	+1	270	271	-1
	b	270	269	+1	270	270	0
	c	270	270	0	270	272	-2
	d	270	270	0	270	271	-1
1999	a	254	254	0	254	254	0
	b	254	254	0	254	255	-1
	c	254	255	-1	254	256	-2
	d	254	255	-1	254	255	-1

17. táblázat. A biológiai érettség mért és modellezett napja (DK 471 SC)

év	kezelés ¹	Őszi szántás			Tárcsázás		
		becsült	mért	eltérés	becsült	mért	eltérés
1997	a	- ²	-	-	-	-	-
	b	248	257	-9	248	258	-10
	c	-	-	-	-	-	-
	d	248	258	-10	248	259	-11
1998	a	279	280	-1	279	280	-1
	b	279	279	0	279	280	-1
	c	279	280	-1	279	281	-2
	d	279	279	0	279	280	-1
1999	a	261	261	0	261	262	-1
	b	261	261	0	261	262	-1
	c	261	262	-1	261	262	-1
	d	261	262	-1	261	263	-2

¹a, b: nem trágyázott, trágyázott 50000 növény ha⁻¹; c, d: nem trágyázott, trágyázott 70000 növény ha⁻¹; ²nincs adat

4.5.2. A kukorica fontosabb növekedési és fejlődési változóinak szimulációja

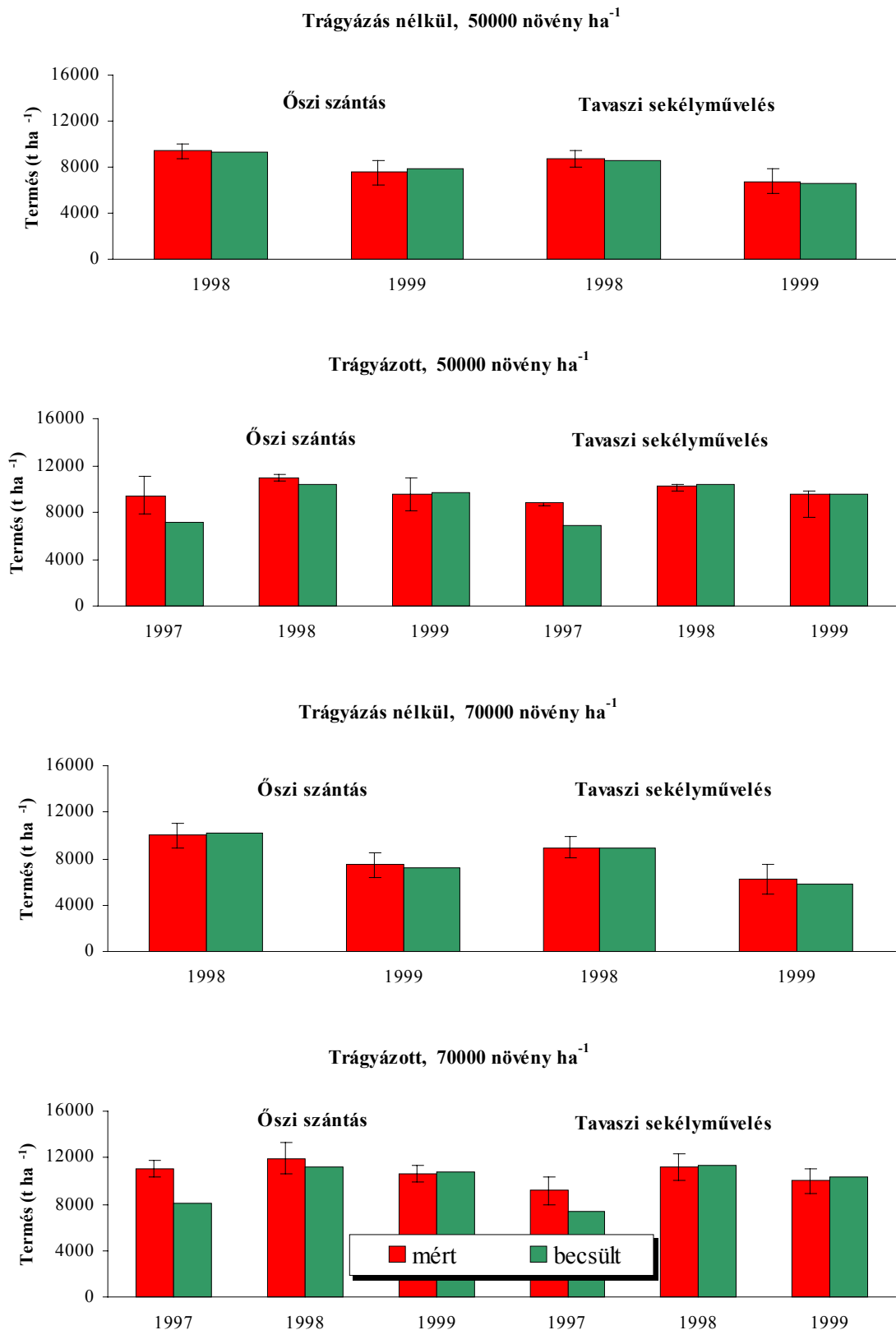
4.5.2.1. Szemtermés

A modell a becsült szemtermést szárazanyagban kifejezve adja meg. A szimuláció során kapott értékeket ezért egységesen 14 %-os nedvességtartalomra korrigáltuk, hogy összehasonlíthatóak legyenek a hibridek kísérletben mért adataival. A mért és a szimulációs modell által becsült terméseredmények összehasonlítását a 14. és a 15. ábrák szemléltetik. A kísérletben mért értékek szórásait az ábrákon függőleges vonalakkal jelöltük.

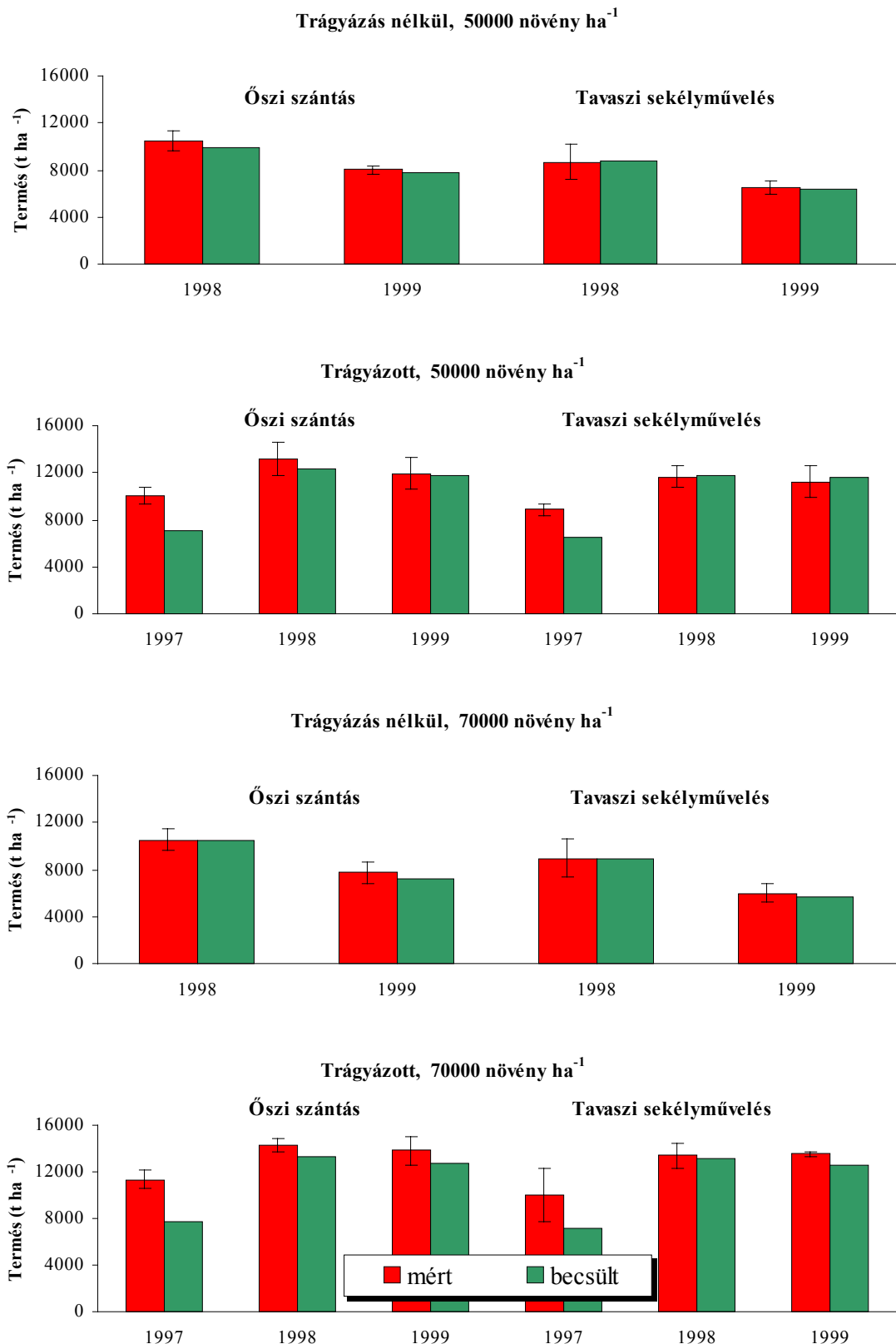
1997-ben a modell mindkét művelési mód esetén jelentősen alulbecsülte a mért terméseredményeket. Az eltérés valamennyi kezelésben jóval meghaladta a hektáronkénti 1 tonnát. A szántott kezelésnél a becsült értékek a növény számtól és a hibridektől függően 23-32 %-kal, azaz mintegy 2.2-3.6 t ha⁻¹-ral maradt el a mért adatoktól. A forgatás nélküli, sekély tavaszi művelés esetében a becslés hibája kisebb volt, azonban még így sem közelítette meg a modell 72-80 %-nál jobban a kísérletben mért termést. Az eltérés ez esetben 2.0-3.0 t ha⁻¹ volt. Az adatokból kitűnik, hogy De 377 SC szemtermésének becslése mind az őszi, mind pedig a tavaszi alpművelésben kismértékben jobb volt, mint a másik genotípusé.

1998-ban a modell a talajművelés, a trágyázás és a növény szám kezeléseket jól követte, csak 3 esetben volt 0.5 tonnát (571-783 kg ha⁻¹), illetve egyetlen alkalommal 1.0 tonnát meghaladó (1034 kg ha⁻¹) eltérés a mért termésekhez képest. A megfigyelt és a modell által becsült adatok közti eltérés a szórás terjedelmén belül vagy ahhoz nagyon közel volt valamennyi kezelésben. A kezelésenkénti átlagos eltérés mindössze -245 kg ha⁻¹ volt, azaz a modell ennyivel becsült kisebb értékeket a valós terméseknél. Szabadföldi kisparcellás kísérletekben ez a különbség a termésmérés hibáján belülinek tekinthető. A 14. és az 15. ábrák jól érzékeltetik, hogy a becslés pontossága a tavaszi sekélyművelésű parcellánál volt jobb. A kísérleti és a becsült adatok közti, korábban említett 0.5 illetve 1.0 tonnát meghaladó eltéréseket mindkét genotípus esetén az őszi alpművelésnél mutattuk ki.

A kísérletből származó szemtermés adatokat igen pontosan becsülte meg a modell az 1999-es évben. Az előző évhez hasonlóan elég pontosan írta le az egyes kezelések közti eltéréseket. Az átlagos eltérés -75 kg ha⁻¹ volt, mindössze egyetlen kezelésben mértünk 0.5 tonnát meghaladó (585 kg ha⁻¹) különbséget a mért és a becsült hozamok között. Az eltérések a számított szórásnál nem voltak nagyobbak.



14. ábra. A De 377 SC kukorica hibrid mért és a modell által becsült terméseredményei

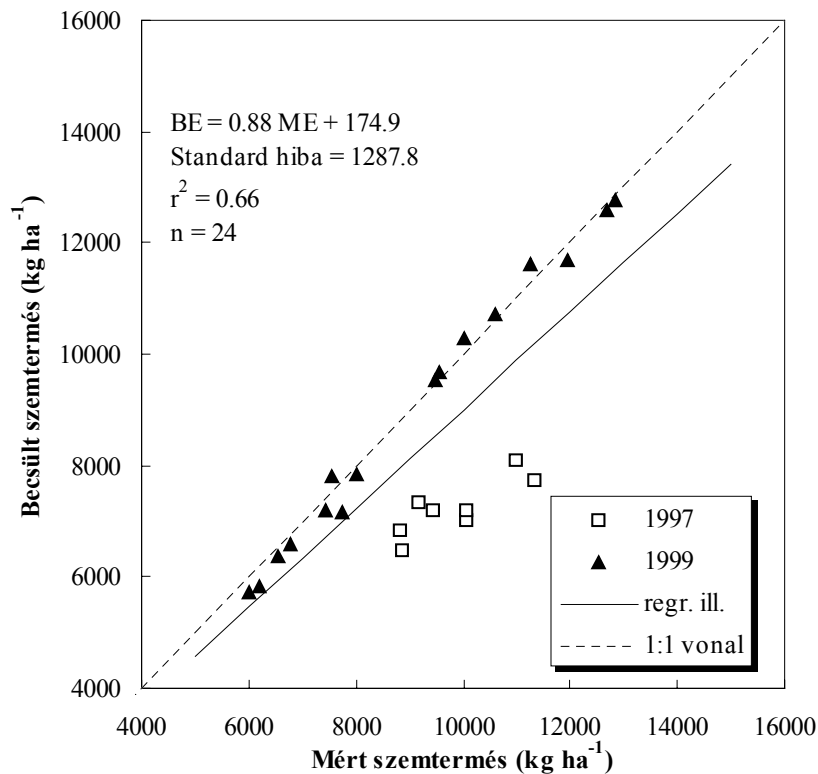


15. ábra. A DK 471 SC kukorica hibrid mért és a modell által becsült terméseredményei

A 14. és a 15. ábrák a fentiek mellett azt is tükrözik, hogy a vizsgált tényezők közül elsősorban csak a műtrágyázás és a növényszám befolyásolta jelentős mértékben a kukorica termését. A műtrágyázás következtében kialakult kedvező tápanyag-ellátottság megbízhatóan növelte mindkét hibrid termését. A csapadékosabb időjárás hatására a sűrűbb, hektáronként 70000-es növényzámon volt szignifikánsan nagyobb a termés mindhárom évben. A vizsgált időszakon belül, különösen az 1998-as és 1999-es esztendő időjárása teremtett optimális feltételeket a kukorica növekedéséhez, fejlődéséhez. A sokéves átlaghoz képest jobb csapadék-ellátottság következtében a két eltérő talajművelési eljárás termésadatai között trágyázott körülmények esetén megbízható eltérést egyik évben sem találtunk. A különböző talajművelési módok hatását csak a trágyázatlan kontroll parcellákon mutattuk ki. A kukorica termése a tavaszi sekélyművelésű kezelés esetén, természetes tápanyag-ellátottság mellett mindkét genotípusnál szignifikánsan kisebb volt 1998-ban és 1999-ben, mint az őszi szántott parcellákon.

A modell által szimulált és mért szemtermés adatok között szignifikáns összefüggést találtunk $p = 1.45 \cdot 10^{-6}$ szinten (16. 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 szignifikánsan eltért 0-tól. A becsült értékek szórása, azaz a regressziós becslés standard hibája $1287.8 \text{ kg ha}^{-1}$ volt, ami az átlag 10.9 %-a.

A 16. ábrán jól látszik, hogy az adatok – az 1997-es év eredményeit leszámítva – egyenletesen oszlanak meg az 1:1 vonal mentén. 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.



16. ábra. Mért és a modell által szimulált terméseredmények (1997, 1999)

4.5.2.2. Terméselemek

Az egy csövön található szemek száma és az ezerszemtömeg a szentermés fontos komponensei. Rendkívül érzékenyek a virágzás idején fellépő környezeti stresszre, így a víz- és tápanyagok, elsősorban a nitrogén hiányára. Ha a szemek száma a hiányos víz- és tápanyag-ellátottság következtében fellépő stressz miatt csökken, ezzel együtt a lehetséges szentermés is jóval kisebb lesz, mint optimális körülmények között. A modellezés egyik kritikus pontja a termés komponenseinek pontos meghatározása, mivel a Ceres-Maize modell gyakran túl- vagy alulbecsüli ezeket a változókat. A szimulációs modellezés jövőbeli fejlesztése feltétlenül indokolt e területen.

Szemszám

A kísérletben mért csövenkénti szemszám műtrágyázás hatására alacsonyabb denzitáson 15-20 %-kal, míg sűrűbb növényállományban 20-35 %-kal volt megbízhatóan több az évjáratától és a genotípustól függően. A területegységre jutó növényszám növelése a műtrágyázással ellentétes hatást fejtett ki. 70000 tő ha⁻¹ növénydenzitás mellett a trágyázás nélküli, kontroll parcellákon 15-20 %-kal, kedvező tápanyag-ellátottság esetén 8-10 %-kal csökkent a szemek

száma a ritkább növényállomány értékeihez képest. A kísérletben szereplő harmadik növénytermesztési tényező, a talajművelés szignifikánsan nem befolyásolta a szemszámot. A három egymást követő év időjárása kedvező feltételeket teremtett a kukorica növekedéséhez, fejlődéséhez, így az egyes évjáratok között megbízható eltérést nem találtunk. Jelentős volt viszont az eltérés a két hibrid között. A genetikai potenciálja révén nagyobb szemtermés elérésére képes DK 471 SC szemszáma szignifikánsan több volt, a kezelések átlagában mintegy 13.4 %-kal haladta meg a De 377 SC értékeit. A betakarításkor meghatározott egy csőre eső szemek számát és a modell által becsült értékeket a 18. és 19. táblázat szemlélteti.

A Ceres-Maize modell által becsült szemszám a vizsgált 3 éves időszakban 288 és 662 szem cső⁻¹ (De 377 SC), illetve 251 és 798 szem cső⁻¹ (DK 471 SC) között volt, miközben a kísérletben 434 és 651 szem cső⁻¹ (De 377 SC), valamint 455 és 756 szem cső⁻¹ (DK 471 SC) közti értékeket figyeltünk meg. Az egyes évjáratokban a modell eltérő pontossággal becsülte a szemszámot. 1997-ben a szimulált értékek következetesen kisebbek voltak a mért adatoknál. A modell mintegy 16-30 %-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 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-tengely metszet szignifikánsan különbözött 0-tól, azaz a modell a szemterméshez hasonlóan szisztematikusan alábecsülte az egy csövön mért szemszámot (17. ábra).

Ezerszemtömeg

A hibridek ezerszemtömege műtrágyázás hatására mintegy 5-36 %-kal (De 377 SC), illetve 6-46 %-kal (DK 471 SC) növekedett az évjáráttól függően. A legnagyobb trágyahatást az 1999-es évben mértük. A trágyázás hatása nem tért el a különböző növény-sűrűségű állományok esetében, viszont eltérést tapasztaltunk a talajművelési változatok között. A trágyázás hatására a tavaszi sekélyművelésnél emelkedett nagyobb mértékben a hibridek ezerszemtömege.

A talajművelés módja szignifikánsan nem befolyásolta az ezerszemtömeget, trágyázott körülmények között viszont a természetes tápanyag-ellátottságú kezelésnél, tavaszi sekély alapművelés esetében mindkét genotípus ezerszemtömege igazoltan kisebb volt.

A kísérletben megállapított ezerszemtömeg szignifikánsan eltért a különböző növény-sűrűségű kezeléseknél. 70000 tó ha⁻¹ növény-szám esetén a mért ezerszemtömeg mind trágyázatlan, mind a jó tápanyag-ellátottságú kezeléseknél közel 10-15 %-kal volt megbízhatóan kevesebb, mint ritkább növényállományban.

A kísérletben meghatározott és a modell futtatása során kapott ezerszemtömeg értékeket a 20. és 21. táblázatban foglaltuk össze. A modell a hibridek ezerszemtömegeit 244.2-288.4 mg szem⁻¹ (De 377 SC), illetve 233.9-306.7 mg szem⁻¹ (DK 471 SC) közötti tartományban becsülte, míg a kísérletben 177.9-285.4 és 170.7-311.9 mg szem⁻¹ értékeket kaptunk.

1997-ben a csövenkénti szemszám becsülésével 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 ezerszemtömegeknél.

Az 1997-es és az 1999-es évet együttesen értékelve a mért és a becsült adatokat lineáris regresszióval elemeztük (18. 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 tudunk 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.

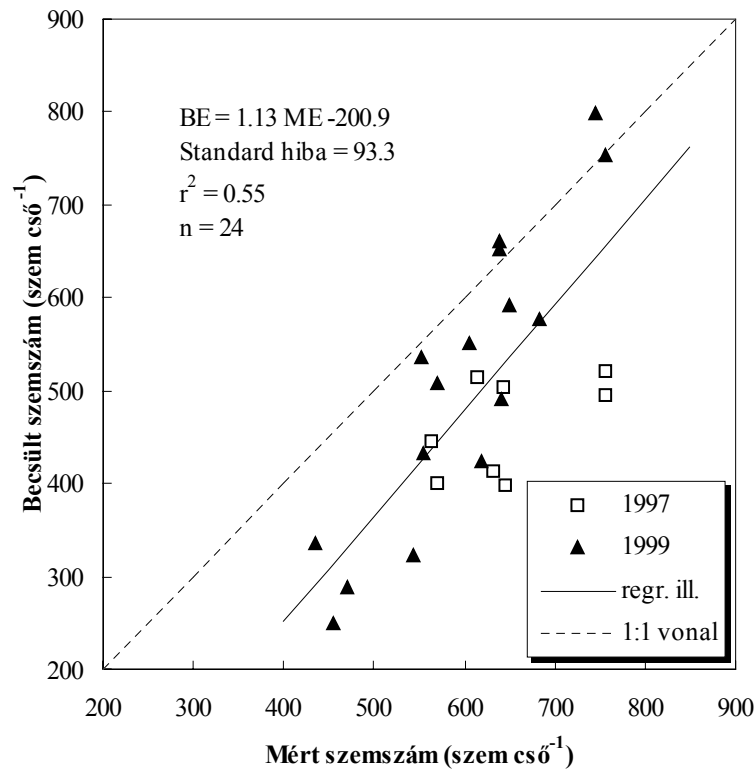
18. táblázat. A De 377 SC kukorica hibrid egy csövön található szemszámának modell által becsült és a kísérletben mért értékei (db cső⁻¹)

év		Őszi szántás			Tárcsázás		
		becsült	mért	eltérés (%)	becsült	mért	eltérés (%)
1997	a	-2	-	-	-	-	-
	b	503	644	-28.0	401	571	-29.8
	c	-	-	-	-	-	-
	d	515	615	-16.3	446	563	-20.8
1998	a	626	588	+6.5	626	561	+11.6
	b	621	651	-4.6	656	651	+0.8
	c	469	501	-6.4	514	507	+1.4
	d	505	587	-14.0	510	640	-20.3
1999	a	536	553	-3.1	432	555	-22.2
	b	653	639	+2.2	662	639	+3.6
	c	336	434	-22.6	288	471	-38.9
	d	509	571	-10.9	551	605	-8.9

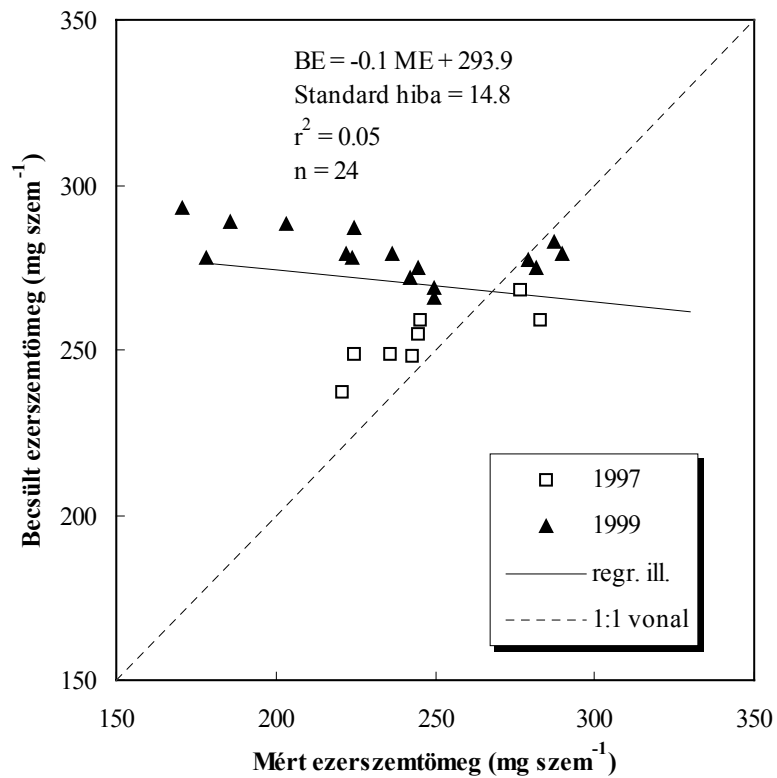
¹a, b: nem trágyázott, trágyázott 50000 növény ha⁻¹; c, d: nem trágyázott, trágyázott 70000 növény ha⁻¹; ²nincs adat

19. táblázat. A DK 471 SC kukorica hibrid egy csövön található szemszámának modell által becsült és a kísérletben mért értékei (db cső⁻¹)

év		Őszi szántás			Tárcsázás		
		Becsült	mért	eltérés (%)	becsült	mért	eltérés (%)
1997	a	-2	-	-	-	-	-
	b	496	756	-34.4	522	756	-30.9
	c	-	-	-	-	-	-
	d	398	645	-38.3	414	633	-34.6
1998	a	667	678	-1.6	745	615	+21.1
	b	696	755	-7.8	768	756	+1.6
	c	502	502	0	434	507	-14.4
	d	567	664	-14.6	586	677	-13.4
1999	a	491	640	-23.3	423	619	-31.7
	b	754	755	-0.1	798	745	+7.1
	c	323	543	-40.5	251	455	-44.8
	d	578	683	-15.4	592	649	-8.8



17. ábra. Mért és a modell által szimulált egy csövön található szemek száma (1997, 1999)



18. ábra. Mért és a modell által ezerszemtömeg értékek (1997, 1999)

20. táblázat. A De 377 SC kukorica hibrid ezerszemtömegének modell által becsült és a kísérletben mért értékei (mg szem⁻¹)

év	kezelés ¹	Őszi szántás			Tárcsázás		
		becsült	mért	eltérés (%)	becsült	mért	eltérés (%)
1997	a	- ²	-	-	-	-	-
	b	276.5	267.9	+1.0	283.0	259.0	+9.3
	c	-	-	-	-	-	-
	d	244.4	255.5	-4.3	243.1	247.8	-1.9
1998	a	279.9	259.0	+8.1	272.1	244.2	+11.4
	b	283.6	283.6	0	285.4	288.4	-1.0
	c	248.8	269.0	-7.5	225.3	259.9	-13.3
	d	254.1	275.5	-7.8	266.2	278.9	-4.6
1999	a	249.8	266.3	-6.2	223.8	278.2	-19.6
	b	279.3	277.3	+0.7	281.6	275.2	+2.3
	c	222.0	278.5	-20.3	177.9	277.7	-35.9
	d	244.4	275.0	-11.1	242.3	271.8	-10.9

¹a, b: nem trágyázott, trágyázott 50000 növény ha⁻¹; c, d: nem trágyázott, trágyázott 70000 növény ha⁻¹; ²nincs adat

21. táblázat. A DK 471 SC kukorica hibrid ezerszemtömegének modell által becsült és a kísérletben mért értékei (mg szem⁻¹)

év	kezelés ¹	Őszi szántás			Tárcsázás		
		becsült	mért	eltérés (%)	becsült	mért	eltérés (%)
1997	a	- ²	-	-	-	-	-
	b	259.1	290.8	-10.9	248.9	235.6	+5.6
	c	-	-	-	-	-	-
	d	248.9	224.5	+10.9	236.9	220.7	+7.3
1998	a	250.9	271.8	-7.7	233.9	285.7	-18.1
	b	305.7	299.3	+2.1	306.7	311.9	-1.6
	c	268.3	267.7	+0.2	291.2	249.2	+16.9
	d	299.7	274.6	+9.1	302.3	265.1	+14.0
1999	a	286.6	224.4	+27.7	287.6	203.0	+41.7
	b	283.5	287.1	-1.3	278.6	289.6	-3.8
	c	288.8	185.3	+55.9	293.1	170.7	+71.7
	d	279.4	236.4	+18.2	268.7	249.5	+7.7

¹a, b: nem trágyázott, trágyázott 50000 növény ha⁻¹; c, d: nem trágyázott, trágyázott 70000 növény ha⁻¹; ²nincs adat

A mért és a Ceres-Maize modellel becsült terméskomponenseket összességében figyelembe véve megállapíthatjuk, hogy a szimulálás 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 ez a csövenkénti számszám nagymértékű alul-, illetve az ezerszemtömeg túlzott mértékű felülbecslésével magyarázható.

4.5.2.3. Biomassza

A kísérletben alkalmazott növénytermesztési tényezők eltérő hatást fejtettek ki a fiziológiai érettség idején mért összes, föld feletti szárazanyag mennyiségére.

A trágyázás hatását vizsgálva megállapítottuk, hogy a kedvező tápanyag-ellátottság következtében a hibridek összes szárazanyag-produkciója a növény számtól és a talajműveléstől függően nagymértékben növekedett. A trágyázás szárazanyag-növelő hatása sűrűbb, 70000 tó ha⁻¹ növényállományban volt szembetünőbb, illetve a talajművelési eljárások közül a tavaszi sekélyművelésű kezelés esetében mértünk szignifikánsan nagyobb szárazanyag-többletet (22. és 23. táblázat). A trágyázás miatti, kedvezőbb tápanyag-ellátottság eltérő mértékben növelte a két genotípus összes szárazanyag-hozamát. A De 377 SC szárazanyag-produkciója a kezelésektől függően 17-49 %-kal, míg a DK 471 SC esetén 24-76 %-kal volt megbízhatóan nagyobb.

A kísérletben alkalmazott növény szám-kezelések, a talaj tápanyag-ellátottságától függően, eltérő módon befolyásolták a hektáronkénti biomassza mennyiségét. A különböző növény számú kezelésekben képződött szárazanyag mennyisége szignifikánsan nem tért el a trágyázás nélküli, kontroll parcellákon. Jobb tápanyag-ellátottság mellett, mindkét genotípus, illetve talajművelési eljárás esetén hektáronként átlagosan 2.5-3.0 t-val megbízhatóan nagyobb föld feletti biomasszát mértünk.

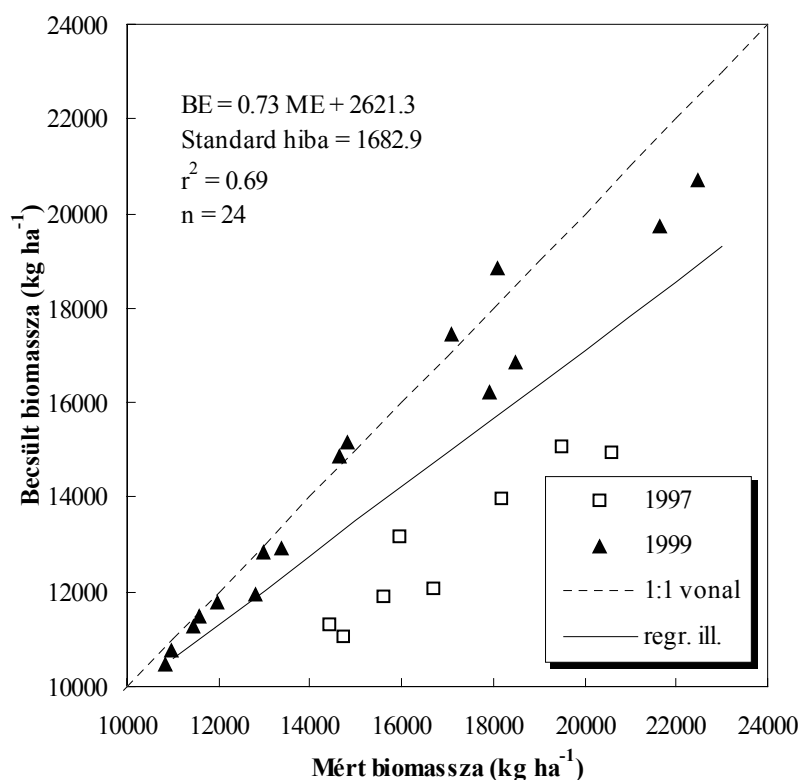
Az eltérő mélységben és időben végrehajtott talajművelési kezelések, jó tápanyag-ellátottságnál, igazolhatóan nem befolyásolták a biomassza mennyiségét. Szignifikáns eltérést csak a tápanyagban szegényebb, kontroll parcellákon mutattunk ki a vizsgált 1998-as és 1999-es évben.

A 22. és 23. táblázat a fiziológiai érettség idején meghatározott biomassza mennyisége mellett a szimulációs modell által becsült értékeket is tartalmazza. 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 becült adatai átlagosan 5-10 %-kal maradtak el a mért adatoktól.

A becült és a mért föld feletti biomassza értékek közötti, $p = 4.3 \cdot 10^{-7}$ szinten szignifikáns összefüggést az alábbi egyenlet írja le:

$BE = 0.73 ME + 2621.3$, amelyben $BE =$ a biomassza becült 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 becült értékek szórásának mértékét kifejező standard hiba 1683 kg ha^{-1} , azaz az átlag 10.7 %-a volt. A tengelymetszet a számítások szerint szignifikánsan eltért 0-tól, tehát a modell szisztematikusan alulbecsülte a biomassza értékeit. Erre utal az adatok eloszlása is az 1:1 vonal körül (19. ábra). 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 becülte a föld feletti biomassza mennyiségét.



19. ábra. Mért és a modell által szimulált föld feletti biomassza (1997, 1999)

22. táblázat. A De 377 SC kukorica hibrid modell által becsült és a kísérletben mért összes föld feletti biomassza értékei (kg ha⁻¹)

év		Őszi szántás			Tárcsázás		
		becsült	mért	eltérés (%)	becsült	mért	eltérés (%)
1997	a	-2	-	-	-	-	-
	b	11910	15600	-23.7	11299	14400	-21.5
	c	-	-	-	-	-	-
	d	15083	18390	-18.0	13167	15970	-17.6
1998	a	13596	14400	-5.6	12751	13520	-5.7
	b	15746	16700	-5.7	15040	15650	-3.9
	c	15735	16200	-2.9	13636	14360	-5.0
	d	18738	18868	-0.7	18538	18390	+0.8
1999	a	11778	11980	-1.7	10741	10970	-2.1
	b	15166	14821	+2.3	14845	14650	+1.3
	c	12825	12960	-1.0	11266	11445	-1.6
	d	18860	18110	+4.1	17426	17100	+1.9

¹a, b: nem trágyázott, trágyázott 50000 növény ha⁻¹; c, d: nem trágyázott, trágyázott 70000 növény ha⁻¹; ²nincs adat

23. táblázat. A DK 471 SC kukorica hibrid modell által becsült és a kísérletben mért összes föld feletti biomassza értékei (kg ha⁻¹)

év	kezelés ¹	Őszi szántás			Tárcsázás		
		becsült	mért	eltérés (%)	becsült	mért	eltérés (%)
1997	a	²	-	-	-	-	-
	b	12080	18380	-34.3	11039	14840	-25.6
	c	-	-	-	-	-	-
	d	14958	20580	-27.3	13973	18640	-25.0
1998	a	14391	16310	-11.8	12588	13930	-9.6
	b	17212	20260	-15.0	15558	18000	-13.6
	c	16137	17000	-5.1	14072	14770	-4.7
	d	20339	22500	-9.6	19409	21530	-9.8
1999	a	11965	12800	-6.5	10457	10840	-3.5
	b	16866	18500	-8.8	16222	17910	-9.4
	c	12919	13350	-3.2	11470	11580	-0.9
	d	20700	20900	-0.9	19734	20357	-3.1

¹a, b: nem trágyázott, trágyázott 50000 növény ha⁻¹; c, d: nem trágyázott, trágyázott 70000 növény ha⁻¹; ²nincs adat

4.5.2.4. *Harvest-index*

A fiziológiai érettség elérésekor meghatározott szemtermés és az összes föld feletti fitotömeg arányát kifejező harvest-index (HI) értékeit a kísérletben vizsgált növénytermesztési tényezők közül elsősorban a műtrágyázás és a növényszám befolyásolta, míg a talajművelés csak kisebb mértékben módosította a szemtermés és a melléktermék arányát (24. és 25. táblázat).

Műtrágyázás hatására az évjárattól és a talajművelés módjától függően eléggé tág intervallumban, 0.5-20.2 %-kal növekedett a HI. A legkisebb eltérést 1998-ban mértük. Ebben az esztendőben a hibridek HI-e trágyázás nélkül is nagy volt, és azt a kedvezőbb tápanyag-ellátottság, illetve a talajművelés módja sem módosította szignifikánsan. 1999-ben a műtrágyázás hatására a tavaszi sekélyművelésű kezelésnél igazolhatóan nagyobb mértékben növekedett a HI, mint őszi szántás esetén.

A növényszám hatása a trágyázással ellentétes volt, a sűrűbb növényállományt jelentő 70000 tő ha⁻¹ esetén évjárattól függően megbízhatóan csökkent mindkét genotípus HI-e. A csökkenés értéke 1997-ben és 1999-ben volt a legszembetűnőbb (7-12 %), míg a három év közül a legcsapadékosabb időjárású 1998-as évben átlagosan 3-6 %-kal csökkent a HI.

A talajművelési eljárások között megbízható eltérést csak az 1999-es évben, az alacsony tápanyag-ellátottságú, kontroll kezelésben mutattunk ki. A hibridek HI-e tavaszi sekély alapművelés esetén szignifikánsan kisebb volt ennél a kezelésnél.

A hibridek HI-e között megbízható eltérést kaptunk mindhárom vizsgált évjáratban. A De 377 SC hibridet a DK 471 SC-vel összehasonlítva, kisebb szárazanyag-produkciót és szemtermést állapítottunk meg. Ezt azonban ellensúlyozza a De 377 SC generatív típusából adódó nagyobb HI-e, azaz a tápanyag-produkción belül magasabb a szemtermés aránya. A vizsgált időszakban a kedvező körülményeknek köszönhetően a DK 471 SC nagyobb genetikai potenciálja érvényesült, így jobb tápanyag- és vízellátottság esetén célszerű ezt a nagyobb szárazanyag-produktumot és ezáltal nagyobb termést adó genotípust előnyben részesíteni. Amennyiben a termőterület talaja tápanyagokkal kevésbé ellátott, illetve az évjárat csapadékmennyisége és eloszlása kedvezőtlen, a biztonságos termés elérése érdekében inkább a kisebb termőképességű De 377 SC hibrid alkalmazása javasolt, mivel termése eléréséhez relatíve kevesebb víz- és tápanyag felhasználására van szüksége.

24. táblázat. A De 377 SC kukorica hibrid modell által becsült és a kísérletben mért harvest-index értékei (kg kg⁻¹)

év	kezelés ¹	Őszi szántás			Tárcsázás		
		becsült	mért	eltérés (%)	becsült	mért	eltérés (%)
1997	a	- ²	-	-	-	-	-
	b	0.521	0.521	0	0.520	0.526	-1.1
	c	-	-	-	-	-	-
	d	0.462	0.514	-10.1	0.478	0.494	-3.2
1998	a	0.584	0.562	+3.9	0.576	0.558	+3.2
	b	0.570	0.563	+1.2	0.591	0.561	+5.3
	c	0.554	0.531	+4.3	0.558	0.538	+3.7
	d	0.512	0.544	-5.6	0.522	0.524	-0.4
1999	a	0.570	0.542	+5.2	0.526	0.531	-0.9
	b	0.549	0.553	-0.7	0.552	0.556	-0.7
	c	0.482	0.494	-2.4	0.447	0.466	-4.1
	d	0.490	0.503	-2.6	0.507	0.503	+0.8

¹a, b: nem trágyázott, trágyázott 50000 növény ha⁻¹; c, d: nem trágyázott, trágyázott 70000 növény ha⁻¹; ²nincs adat

25. táblázat. A DK 471 SC kukorica hibrid modell által becsült és a kísérletben mért harvest-index értékei (kg kg⁻¹)

év	kezelés ¹	Őszi szántás			Tárcsázás		
		becsült	mért	eltérés (%)	becsült	mért	eltérés (%)
1997	a	- ²	-	-	-	-	-
	b	0.500	0.518	-3.5	0.506	0.498	+1.6
	c	-	-	-	-	-	-
	d	0.444	0.474	-6.3	0.442	0.475	-6.9
1998	a	0.591	0.552	+7.1	0.596	0.535	+11.4
	b	0.618	0.558	+10.8	0.651	0.558	+16.7
	c	0.560	0.532	+5.3	0.548	0.523	+4.8
	d	0.560	0.545	+2.8	0.584	0.534	+9.4
1999	a	0.564	0.538	+4.8	0.523	0.518	+1.0
	b	0.596	0.556	+7.2	0.616	0.540	+14.1
	c	0.476	0.499	-4.6	0.429	0.446	+3.8
	d	0.531	0.528	+0.6	0.548	0.536	+2.2

¹a, b: nem trágyázott, trágyázott 50000 növény ha⁻¹; c, d: nem trágyázott, trágyázott 70000 növény ha⁻¹; ²nincs adat

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 (24. és 25. táblázat).

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 (20. ábra). Az összefüggést az alábbi lineáris egyenlet írja le:

$BE = 1.52 ME - 0.27$, amelyben BE = a modell által becsült HI, ME = a kísérletben mért HI.

A képletben szereplő Y-tengelymetszet szignifikánsan nem tért el 1.0-tól, illetve az egyenlet regressziós együtthatója sem különbözött megbízhatóan 0.0-tól, azaz az 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 5.7 %-át jelenti. A regressziós egyenes illeszkedése azonban csak közepes ($r^2 = 0.68$), 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 0.446-0.558 kg kg⁻¹ tartományban mért HI-értékeivel szemben a modellezett adatok a 0.429 és 0.651 kg kg⁻¹ sávban találhatóak.

4.5.2.5. Maximális levélterület-index

Az egységnyi talajfelületre jutó levélborítottság legnagyobb értéke (LAI_{max}) szoros kapcsolatban van a fotoszintézis során megtermelt asszimiláták, valamint a generatív szervekbe, elsősorban a szemekbe vándorolt szerves anyag mennyiségével. Végző soron tehát a fotoszintetikus szárazanyag-produkció alapját jelenti és döntően meghatározza a szemtermés nagyságát. Emiatt különösen fontos, hogy a modell nagy pontossággal közelítse meg a kísérletben mért LAI-értékeket.

A vizsgálatok során elemeztük az eltérő tápanyag-ellátottságnak, növény-sűrűségnek és talajművelésnek a LAI maximális értékeire gyakorolt hatását, illetve a Ceres-Maize modellel becsültük a kísérleti adatokat (26. és 27. táblázat).

Műtrágyázás hatására az alkalmazott növény-sűrűségtől és genotípustól függően eltérő mértékben növekedett a LAI_{max} értéke. A De 377 SC esetén mindkét növény-sűrűségű kezelésben kb. 10-15 %-kal mértünk nagyobb LAI_{max}-értéket ezzel szemben a DK 471 SC 50000 tő ha⁻¹ növény-számú parcelláin 0-10 %, sűrűbb növényállományban ettől lényegesen több, 18-20 % volt a trágyázás LAI-értékekre gyakorolt hatása virágzás idején.

Az elvégzett vizsgálatok szerint a növény-szám a műtrágyázáshoz viszonyítva nagyobb mértékben befolyásolta a hibridek LAI_{max} értékeit. Sűrűbb, hektáronkénti 70000-es növényállományban a LAI_{max}-értékek a talajműveléstől és a tápanyag-ellátottságtól függően 18-53 %-kal (De 377 SC), illetve 23-44 %-kal (DK 471 SC) voltak megbízhatóan nagyobbak, mint az 50000 tő ha⁻¹ növény-sűrűségű kezelésben.

A különböző mélységben és időben elvégzett művelési eljárások hatására csak a tápanyag-szegényebb, kontroll parcellákon tért el megbízhatóan a levélterület maximális értéke. Optimális tápanyag-ellátottság mellett (trágyázott kezelés) a művelési módok között szignifikáns eltérést nem mutattunk ki.

A kísérletben tesztelt két, eltérő genetikai adottságokkal rendelkező hibrid maximális levélborítottsága megbízhatóan eltért egymástól a vizsgálat tárgyát képező hároméves időszakban. A DK 471 SC LAI_{max}-értéke a vizsgált kezelések mindegyikében szignifikánsan haladta meg a De 377 SC levélborítottsági mutatószámait.

Az 1997-1999-es időszak kedvező időjárásának köszönhetően mindhárom év tenyészidőszakában közel azonos nagyságú maximális levélborítottságot mértünk a kezeléseknél. Az évjárat szignifikánsan nem módosította a LAI_{max} értékeit egyik genotípusnál sem.

1997-ben a modell által becsült LAI_{max}-értékek 18-30 %-kal (De 377 SC), illetve 21-26 %-kal (DK 471 SC) megbízhatóan kisebbek voltak a mért levélborítottságnál. 1998-ban a modell mindkét genotípusnál 5-10 %-kal becsülte túl a kísérletben mért értékeket. 1999-ben a De 377 SC szimulált levélborítottsága átlagosan 10-13 %-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 (26. és 27. táblázat).

A szimulációs modell által becsült és a mért LAI_{max}-értékek között igen szoros, $p = 2.05 \cdot 10^{-5}$ szinten szignifikáns összefüggést találtunk (21. ábra). Az összefüggést az alábbi egyenlettel jellemeztük:

$BE = 0.71 ME + 0.78$, amelyben BE = a LAI_{max} becsült értéke, ME = a LAI_{max} mért értéke.

Az elvégzett statisztikai vizsgálat alapján az egyenlet Y-tengelymetszete, illetve a regressziós együttható egyaránt megbízhatóan jellemzi a mért és a becsült adatok közti összefüggést. A regressziós egyenes illeszkedése a determinációs együttható értéke alapján gyenge ($r^2 = 0.46$), a becsült értékek szórása nagy ($0.44 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$), az átlag 13.9 %-át érte el. Ezt igazolja az adatok 1:1 vonal közeli elhelyezkedése is. A 21. ábra jól szemlélteti, hogy amíg 1998-ban és 1999-ben az adatpontok az enyhe felülbecslés ellenére egyenletes eloszlást mutatnak, az 1997-es év tenyészidőszakából származó LAI-értékeket szisztematikusan alulbecsülte a modell.

26. táblázat. A De 377 SC kukorica hibrid modell által becsült és a kísérletben mért maximális levélterület-index értékei (m² m⁻²)

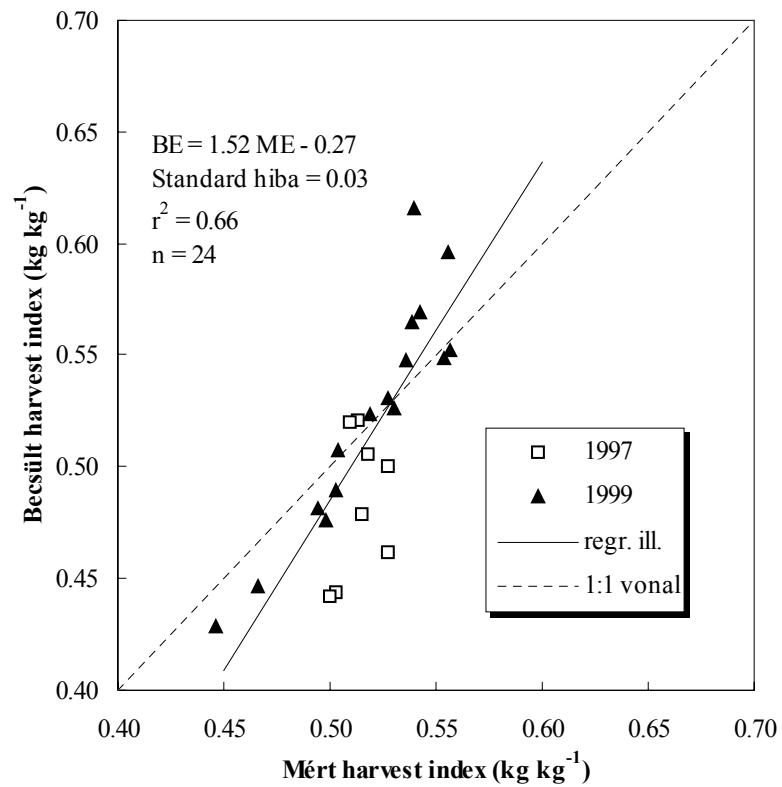
év	kezelés ¹	Őszi szántás			Tárcsázás		
		becsült	mért	eltérés (%)	becsült	mért	eltérés (%)
1997	a	- ²	-	-	-	-	-
	b	2.04	2.46	-17.1	1.96	2.59	-24.3
	c	-	-	-	-	-	-
	d	2.92	3.46	-15.6	2.49	3.25	-23.4
1998	a	2.75	2.39	+15.1	2.70	2.46	+9.8
	b	2.93	2.68	+9.3	2.73	2.78	-1.8
	c	3.62	3.26	+11.0	3.10	2.90	+6.9
	d	3.88	3.54	+9.6	3.84	3.63	+5.8
1999	a	2.74	2.40	+14.2	2.69	2.26	+19.0
	b	2.88	2.75	+4.7	2.82	2.64	+6.8
	c	3.54	3.25	+8.9	3.31	2.95	+12.2
	d	4.04	3.49	+15.8	3.64	3.16	+15.2

¹a, b: nem trágyázott, trágyázott 50000 növény ha⁻¹; c, d: nem trágyázott, trágyázott 70000 növény ha⁻¹; ²nincs adat

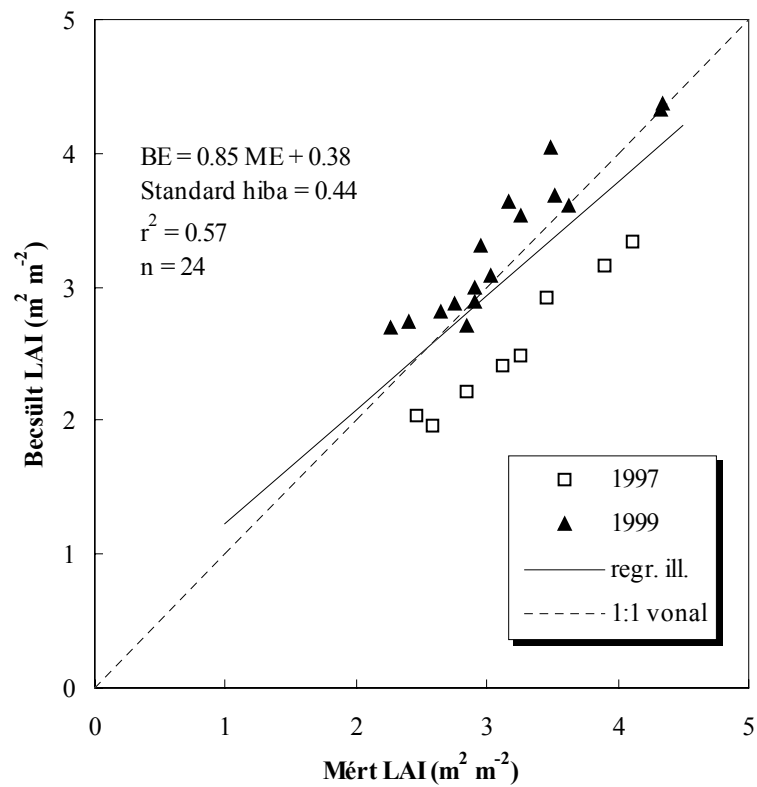
27. táblázat. A DK 471 SC kukorica hibrid modell által becsült és a kísérletben mért maximális levélterület-index értékei (m² m⁻²)

év	kezelés ¹	Őszi szántás			Tárcsázás		
		becsült	mért	eltérés (%)	becsült	mért	eltérés (%)
1997	a	- ²	-	-	-	-	-
	b	2.41	3.12	-22.8	2.22	2.85	-22.1
	c	-	-	-	-	-	-
	d	3.34	4.12	-18.9	3.16	3.90	-19.0
1998	a	3.04	2.80	+8.6	2.64	2.35	+12.3
	b	3.13	2.78	+12.6	2.71	2.47	+9.7
	c	3.87	3.45	+12.2	3.52	3.00	+17.3
	d	4.16	4.06	+2.5	3.98	3.55	+12.1
1999	a	2.89	2.91	-0.7	2.71	2.84	-4.6
	b	3.08	3.03	+1.7	3.00	2.91	+3.1
	c	3.69	3.52	+4.8	3.61	3.62	-0.3
	d	4.33	4.32	+0.2	4.37	4.34	+0.7

¹a, b: nem trágyázott, trágyázott 50000 növény ha⁻¹; c, d: nem trágyázott, trágyázott 70000 növény ha⁻¹; ²nincs adat



20. ábra. Mért és a modell által szimulált harvest index (1997, 1999)



21. ábra. Mért és a modell által szimulált maximális levélterület-index (1997, 1999)

4.5.3. Mért és a modell által becsült szárazanyag-gyarapodás időbeli változásának értékelése

Az 1997-es és 1999-es év tenyészidőszakában, trágyázott körülmények között vizsgáltuk a talajművelés és a növényszám hatását két eltérő genotípusú kukorica-hibrid (De 377 SC, DK 471 SC) szárazanyag-produkciójára. Az értékeléshez szükséges mintákat a tenyészidőszak során a nővirágzástól (1997), illetve a növényállomány 8-9 leveles állapotától (1999) a fiziológiai érettség eléréséig hat alkalommal szedtük a Hanway-skála által meghatározott időpontokban. A kísérletben mért adatokat a modellezett értékekkel is összehasonlítottuk. A De 377 SC mért értékei, valamint a modellfuttatás eredményei a 22. ábrán, a DK 471 SC ugyanezen adatai a 23. ábrán láthatóak.

A szárazanyag-gyarapodás legintenzívebb szakasza valamennyi kezelésben, a hibridek virágzását kb. két héttel megelőző időszakkal vette kezdetét (vetés utáni 50-55. nap) mindkét évben. Az intenzív szárazanyag felhalmozódás az 5. mintavételi időpontig tartott mindkét évben a De 377 SC hibridnél, míg a DK 471 SC esetében a 6. mintavételkor zárult le. A De 377 SC hibrid szárazanyag-gyarapodásának maximumát valamennyi kezelésben az 5. mintavétel idején érte el. Az 5. és az utolsó mintavételkor mért biomassza mennyisége között megbízható eltérést nem találtunk. A DK 471 SC szárazanyag-beépülése – ellentétben a De 377 SC-vel – kismértékben még az utolsó, 6. mintavétel idején is megfigyelhető volt. A magyarázatot a két hibrid eltérő hosszúságú tenyészideje adja. A hosszabb tenyészidejű DK 471 SC hibrid esetében a szárazanyag-gyarapodás időtartama jobban kitolódik, ami egyben nagyobb biológiai produkciót is jelent.

1997-ben 7-8 nappal az utolsó mintaszedést megelőzően regisztráltuk a fekete réteg megjelenését a DK 471 SC esetén, míg a De 377 SC biológiai érettségének időpontja az 5. mintavétel idejével egyezett meg. 1999-ben a DK 471 SC biológiai érettsége a 6. mintavétellel esett egybe, míg a másik genotípusnál az 5-6. mintaszedés közötti időszakban következett be.

A 22. és 23. ábrák jól érzékeltetik, hogy a hibridek szárazanyag-produkciója sűrűbb növényállomány esetén mind hagyományos, mind tavaszi sekély tárcsázás kezelésnél statisztikailag igazolhatóan növekedett mindkét vizsgált év tenyészidőszakában.

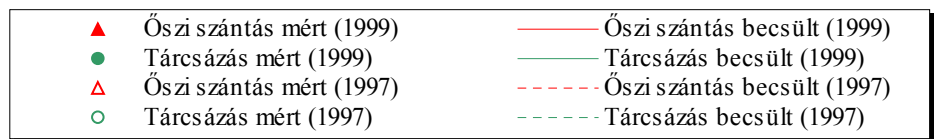
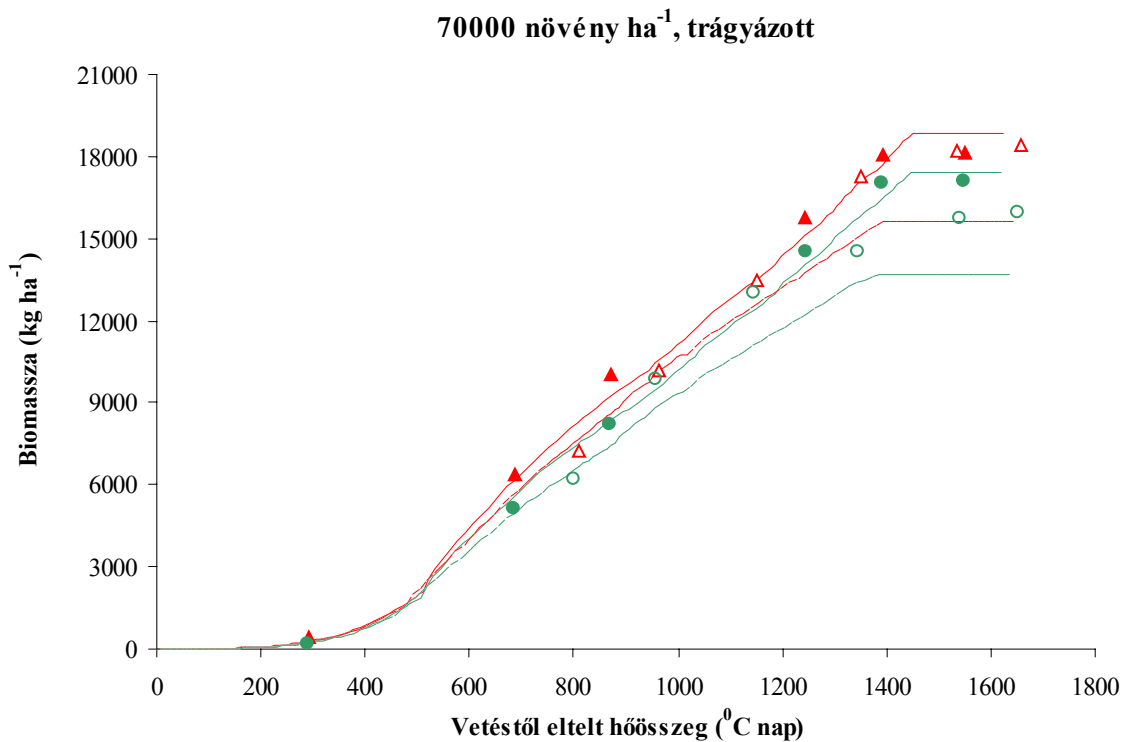
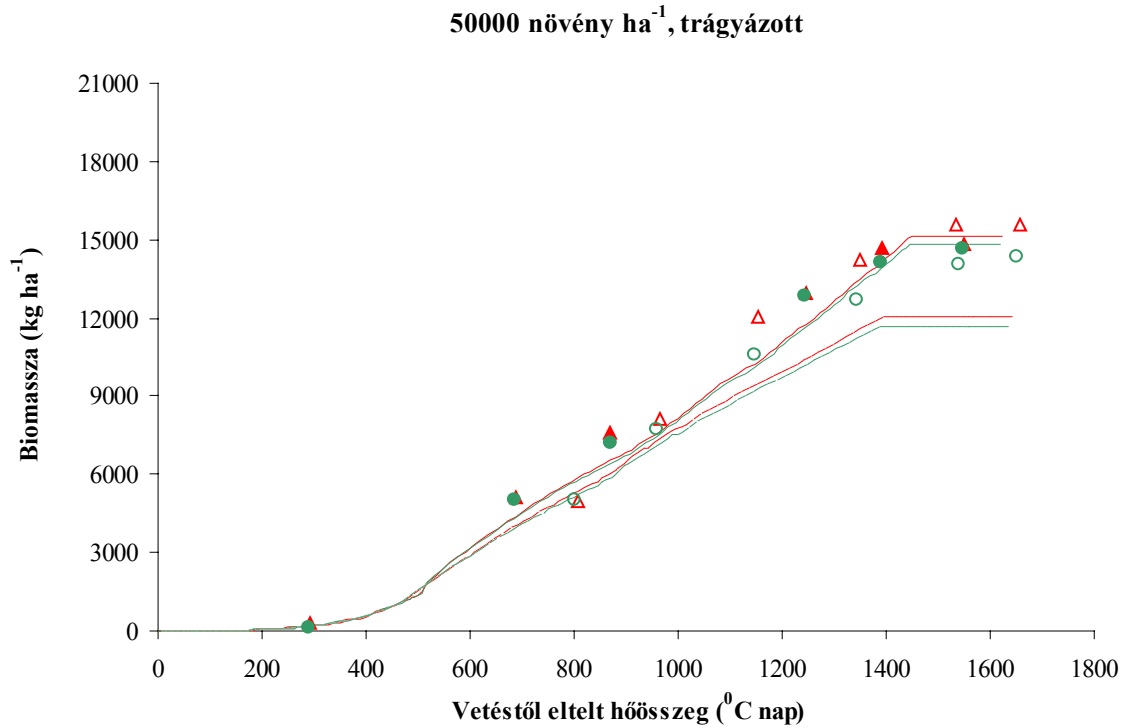
1997-ben a szántott alpművelésű kezelésben mért szárazanyag-tömeg mennyisége mindkét genotípusnál szignifikánsan meghaladta a forgatást mellőző, tavaszi sekélyművelésű kezelés értékeit. 1999-ben viszont az összes föld feletti biomassza mennyisége megbízhatóan nem különbözött az egyes talajművelési kezelésekből. A két művelésmód között 1997-ben

kimutatott nagyfokú eltérés egyértelműen a szántás nélküli, tavaszi sekély alpművelésű parcellákon mért alacsony és rendkívül egyenetlen növényszám következménye volt, mivel az egyedi produkció igazolhatóan nem tért el egymástól a vizsgált művelési eljárásoknál.

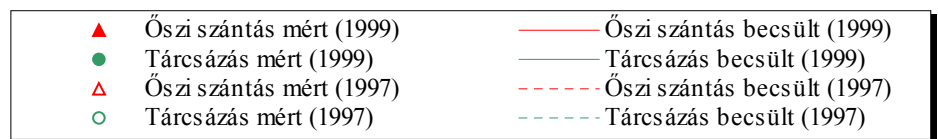
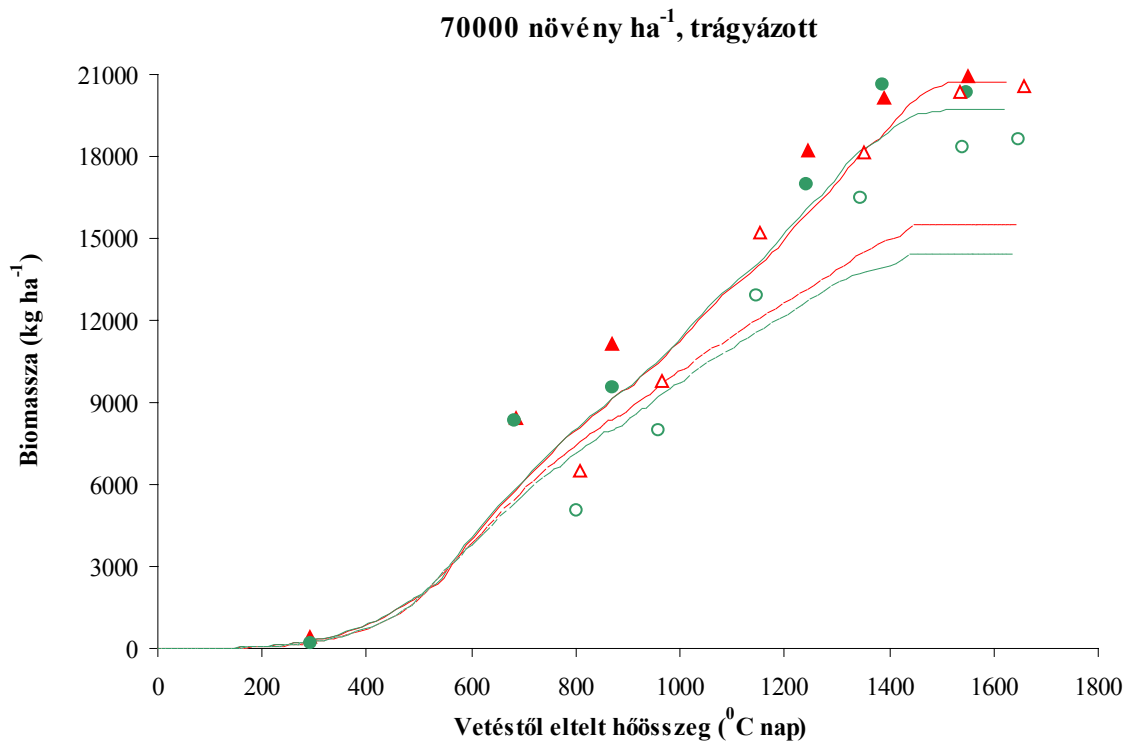
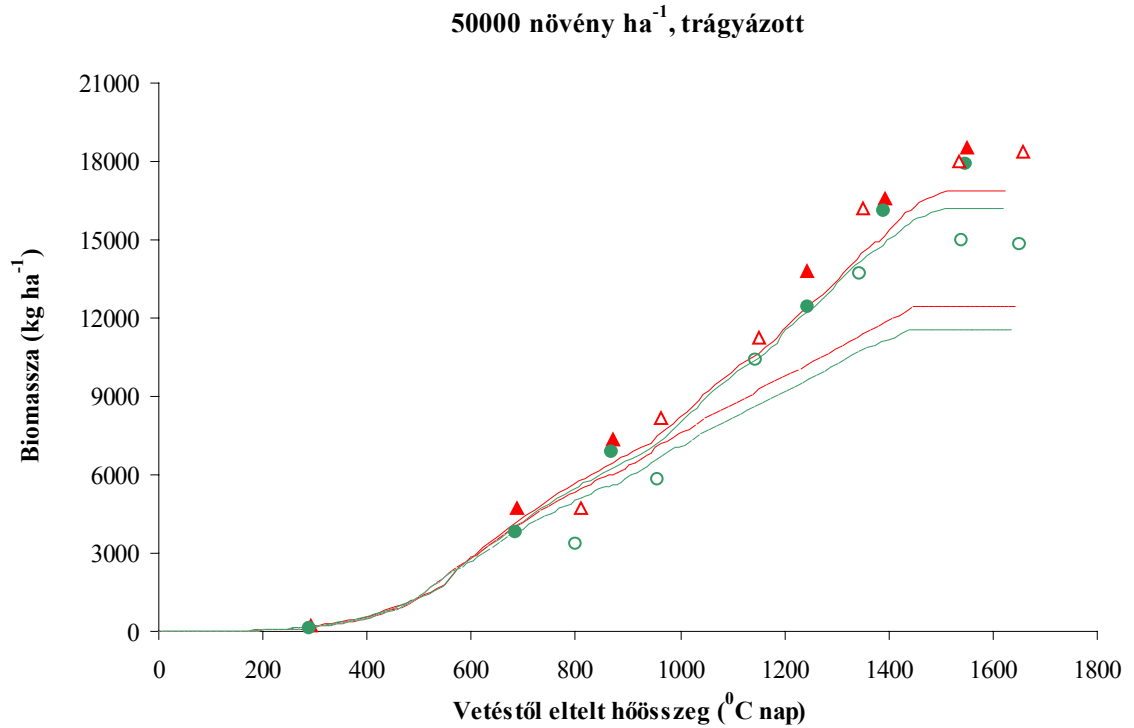
1997-ben a szimuláció során becsült értékeket reprezentáló görbék csak az első két mintavétel idején meghatározott biomassza értékekre illeszkednek jól, az ezt követő szántóföldi mérések eredményeit egyre nagyobb hibával becsülte a modell valamennyi kezelésben. A becslés hibája a DK 471 SC hibridnél volt nagyobb, a biológiai érettség elérésekor a kezelésektől függően 25-30 %-ot ért el. 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, különösen jó a De 377 SC futtatási eredménye. A DK 471 SC modell által becsült és a kísérletben mért értékei között nincs igazolható különbség 50000 tó ha⁻¹ esetén. Sűrűbb, hektáronkénti 70000-es növényállományban viszont 5-7 %-kal alacsonyabb föld feletti biomassza produkciót becsült a modell ennél a hibridnél (23. ábra). 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-gyapodás 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 biomassza mennyiségeket mértünk, további szimulációs vizsgálatokra van szükség az 1997-ben fellépett jelentős becslési hiba okainak felderítésére.



22. ábra. Mért és a Ceres-Maize modell által szimulált szárazanyag-gyarapodás a tenyésztidőszakban (De 377 SC)



23. ábra. Mért és a Ceres-Maize modell által szimulált szárazanyag-gyarapodás a tenyészidőszakban (DK 471 SC)

4.5.4. Mért és a modell által becsült levélterület-index időbeli változásának értékelése

Az 1997-es és 1999-es év tenyészidőszakában a szárazanyag-gyarapodás mellett a hibridek levélterület-indexének (LAI) változását is elemeztük műtrágyázott körülmények között az egyes növénytermesztési tényezők, a talajművelés és a növényszám különböző szintjeinek függvényében. A mintavételezést a nővirágzástól (1997), illetve a hibridek 8-9 leveles állapotától, a vetés utáni 33. napon (1999) kezdtük meg, s a szárazanyag-gyarapodással párhuzamosan végeztük a fiziológiai érettség eléréséig. Vizsgálataink így a korai vegetatív fejlődés értékelése mellett a generatív fázis, a levélleszáradás dinamikájának elemzésére is kiterjedt. A kísérleti adatokat a modell futtatása során szimulált értékekkel hasonlítottuk össze. A mért és a szimulált eredmények a 24. (De 377 SC), illetve a 25. ábrán (DK 471 SC) láthatóak.

A sokéves átlaghoz képest kedvezőbb csapadékviszonyok mindkét vizsgált évben nagy vegetatív felület képződését tették lehetővé. 1997-ben a levélterület-index maximális értékét valamennyi kezelésben az első mintavétel, azaz a nővirágzás idején (vetés utáni 67-70. és 70-72. nap) regisztráltuk. Az 1999-ben a vetés utáni 63. és 76. napon elvégzett mérések tanúsága szerint a maximális levélborítottság kialakulása időben szintén a hibridek nővirágzásával esett egybe (vetés utáni 66-68., illetve 68-71. nap). A hibridek közötti genetikai különbség a levélterületi-index eltérő értékei mellett, annak szezonális dinamikájában is megmutatkozott mindkét esztendőben. A genetikailag nagyobb termés potenciállal rendelkező DK 471 SC LAI-értékei valamennyi kezelésben szignifikánsan meghaladták a De 377 SC eredményét, emellett a levelek leszáradásának üteme szignifikánsan nagyobb volt ez utóbbi genotípusnál. 1999-ben például az utolsó, 6. mérés alkalmával a De 377 SC 50000-es növényszámú parcelláin gyakorlatilag 0-ra csökkent a fotoszintetizáló zöld levélfelület, a másik hibridnél ugyanezen növény-sűrűségeen még 0.6-0.8 m² m⁻² LAI-t mértünk.

A tápelemek optimális szintje a tenyészidőszak jó vízellátottságával párosulva a levélleszáradás ütemét jelentősen mérsékelte, különösen a szemtelítődés intenzív szakaszát jelentő, augusztusi időszakban mértünk sokáig fennmaradó, nagy LAI értékeket.

A növényszám nagymértékben befolyásolta a levélborítottság maximális, illetve tenyészidőszak alatti szezonális értékeit. A kukoricaállomány sűrűségének 50000 tő ha⁻¹-ről 70000 tő ha⁻¹-ra történő emelésekor a LAI_{max} értékei 20-30 %-kal (De 377 SC), illetve 24-35 %-kal (DK 471 SC) növekedtek a talajművelés szintjétől függően.

Az 1997-es év tenyészidőszakában elvégzett vizsgálatok szerint az egységnyi talajfelületre jutó levélborítottság maximális értékei, valamint a levélterület-index értékek tenyészidőszakbeli szezonális dinamikája szignifikánsan eltért a két talajművelési kezelésben. A tavaszi sekélyművelésű parcellákon megbízhatóan kisebbek voltak a LAI_{max} és a LAI szezonális értékei.

1999-ben a talajművelés módja igazolhatóan befolyásolta a LAI maximális és a tenyészidőszak folyamán mért értékeit. A 4. mintavételtől (augusztus 18.) kezdődően a kukoricaállomány levélzetének csökkenése genotípustól függetlenül minden kezeléskombinációban felgyorsult, ám a levelek leszáradásának dinamikája a tavaszi sekély, forgatás nélküli alpművelésű kezelésben volt szignifikánsan nagyobb.

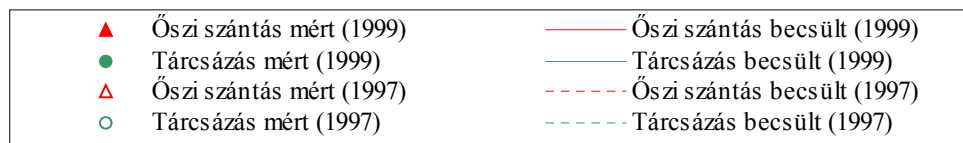
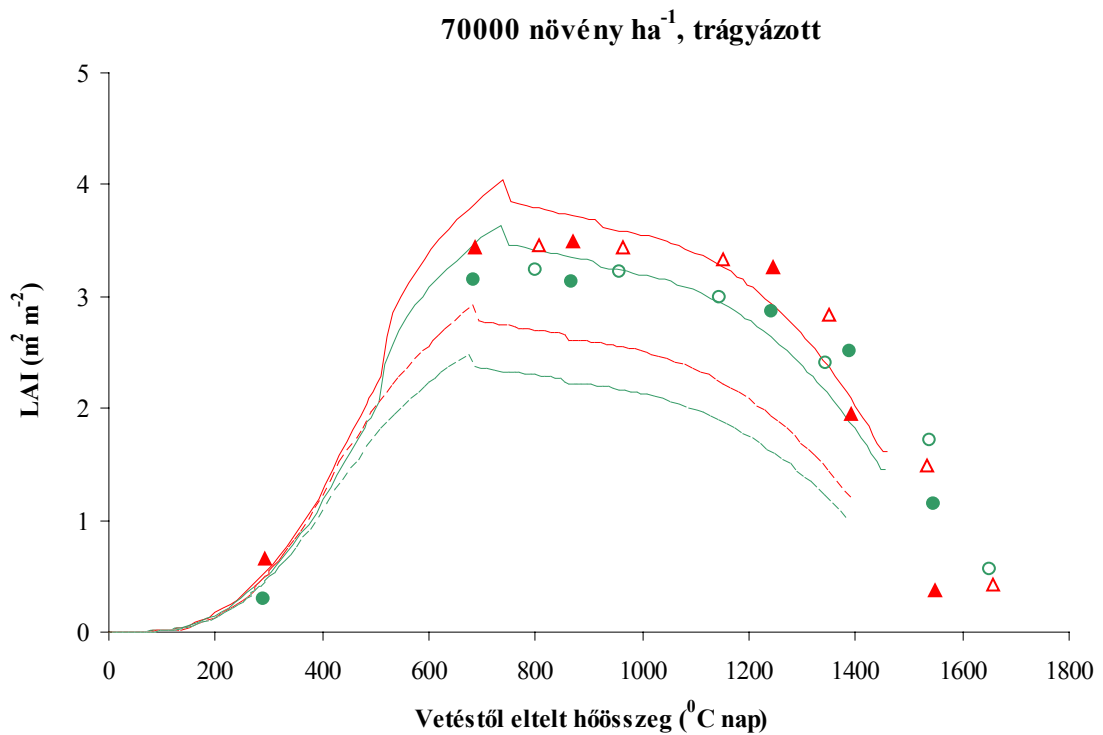
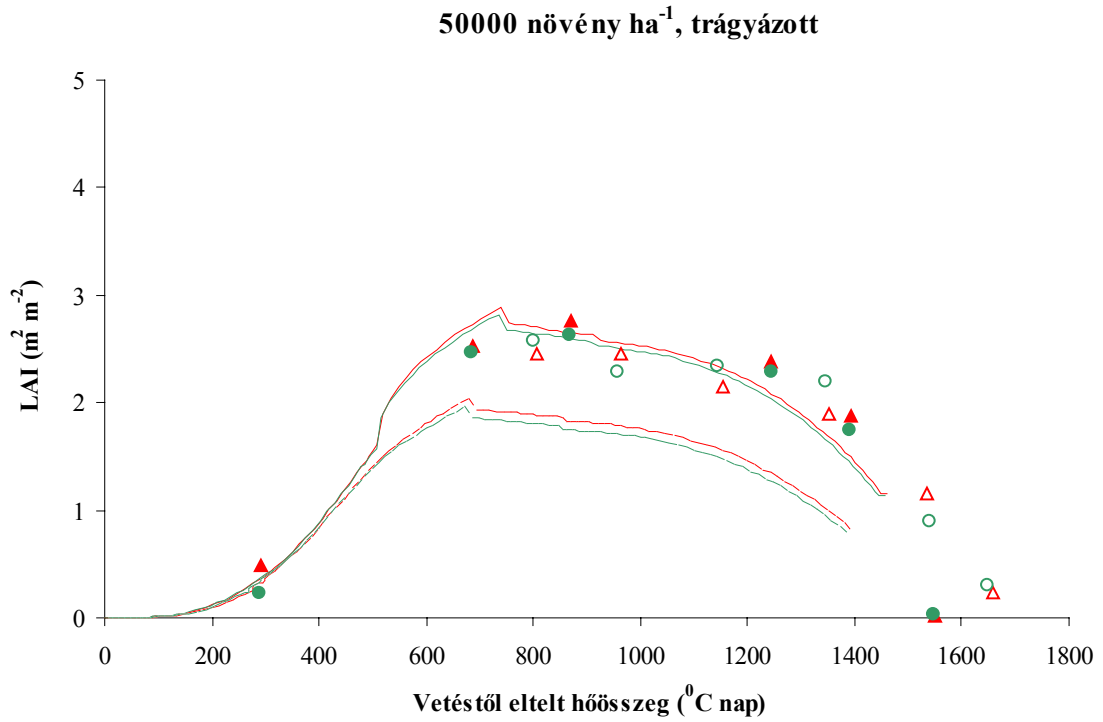
A megfigyelt és a modell által becsült LAI-értékek összehasonlítását a 24. és 25. ábra szemlélteti. Az ábrákon a szárított LAI-értékekre illesztett szimulációs görbék lefutása néhány nappal az általunk végzett utolsó mintavétel ideje előtt véget ér. Ennek az az oka, hogy a modell csak a feltételezett biológiai érettség eléréséig követi nyomon a levélterület alakulását. Ettől az időponttól kezdve a modell állandó értéket ad a LAI-ra.

1997-ben a hibridek juvenilis fázisának végétől, a címerdifferenciálódás kezdetétől a modell meglehetősen nagy hibával, a kezelésektől függően mintegy 25-35 %-kal becsült következetesen alacsonyabb levélborítottságot a teljes tenyészidőszakban. A modell a LAI legnagyobb értékét időben is alulbecsülte, a ténylegesen mért adatokhoz képest 6-8 nappal korábban szimulálta a maximális levélborítottságot valamennyi kezelésben.

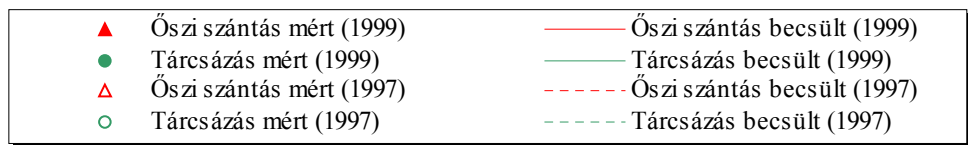
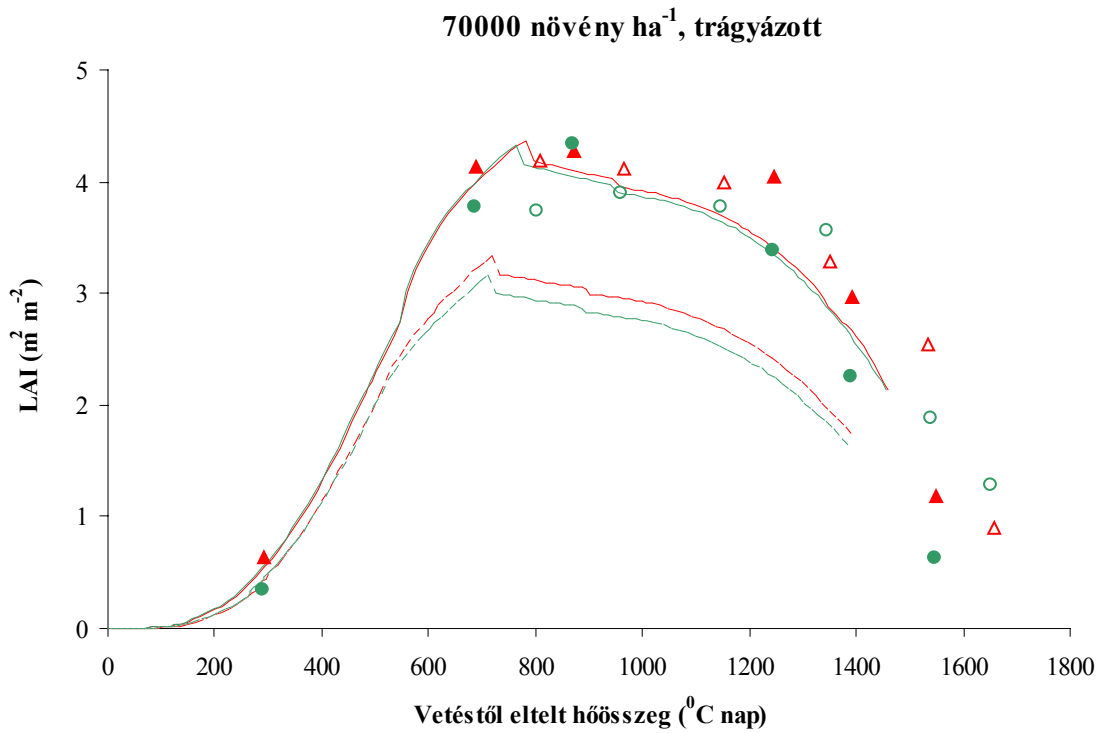
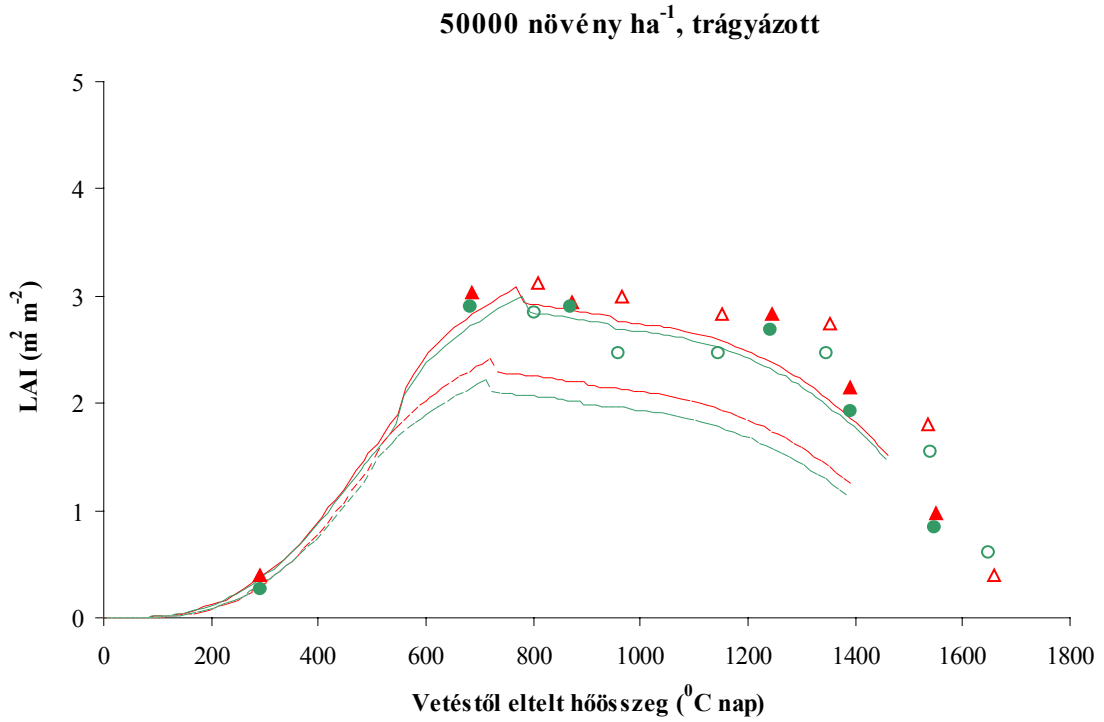
1999-ben, a kísérletben mért és modellezett értékek között 50000 tő ha^{-1} parcellákon nem találtunk igazolható különbséget egyik genotípus esetén sem. A modell szimulációja jól követi a mért adatokat, pontosan becsli az eltérő talajművelési módok és növényszám szintek hatását. Sűrűbb növényállománynál, szántott kezelésben a modell elfogadhatóan becsli a DK 471 SC mért adatait mindkét művelésmód esetén. A vizsgálatokban szerplő másik hibrid nagyobb növénydenzitáson számított nagyobb LAI értékeire illesztett szimulációs görbéi tendenciájukban jól követik a kísérleti adaok időbeli változását, azonban a modell a nővirágzás idején mért LAI értékekhez képest mindkét talajművelési kezelésnél 5-10 %-kal nagyobb levélborítottságot szimulált.

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 tenyészedőszakában közel azonos mértékű levélborítottság ellenére az 1997-es esztendőben tapasztalt jelentős beclési hiba okait szimulációs kísérletekkel lehetne tisztázni.



24. ábra. Mért és a Ceres-Maize modell által szimulált levélterület-index a tenyészidőszakban (De 377 SC)



25. ábra. Mért és a Ceres-Maize modell által szimulált levélfelület-index a tenyészidőszakban (DK 471 SC)

4.6. A Ceres-Maize 3.5 modellel végzett szimulációs kísérletek

A modell validálása során számos probléma merült fel, amelyeket szimulációs vizsgálat keretében próbáltunk megoldani. A szimulációs kísérlettel a következő kérdésekre kerestünk választ:

- Miért volt pontatlan a fenológiai jellemzők, így a kelés, a nővirágzás és a fiziológiai érettség időpontjának becslése?
- Miért volt a modellezett levélterület-index maximális és tenyészidőszakbeli értéke jóval kisebb a kísérletből származó adatoknál?
- Mi okozhatta a model által szimulált szemtermés és biomassza értékeinek jelentős becslési hibáját a virágzást követő időszakban? Ez összefüggésben van-e a fenológiai jellemzők, illetve a LAI pontatlan becslésével?

A fenti kérdésekben megfogalmazott problémák szorosan összefüggenek az időjárás egyes elemeivel, a hőmérséklettel, a globálsugárzással, valamint a kísérleti terület tápanyag-ellátottságával, a lehullott csapadék mennyiségével. Ezek közül először a napi átlaghőmérséklet és a globálsugárzás tenyészidőszakbeli alakulását vizsgáltuk meg részletesebben, mivel a fenofázisok hosszát és a növekedéstelsősorban a hőmérséklet határozza meg.

Abból indultunk ki, hogy mind a LAI, mind a szemtermés és a képződött biomassza mennyisége nagyon hasonló volt a modell validálása során vizsgált két évjáratban, 1997-ben és 1999-ben. A két év időjárási adatsorát egymásra vetítve kiderült, hogy alapvető eltérés van a két esztendő hőmérsékleti, valamint sugárzási viszonyai között. A 26. ábra szemléletesen mutatja, hogy 1997-ben a vetéstől a kelésig tartó időszakban, illetve a juvenilis fázis idején a hőmérséklet jóval az átlag felett volt, a napi maximum több napon át meghaladta a 30 °C-ot is. Ezzel szemben azt követő címerdifferenciálódási szakaszban és a virágzást követő szemtelítődés során a hőmérséklet több fokkal az átlag alá esett. A globálsugárzás napi értékeit elemezve kitűnt, hogy az intenzív szemtelítődés időszakában több egymást követő alkalommal szinte irreálisan alacsony sugárzási értékeket mértek. Nemcsak az alacsony értékek, hanem a napi ingadozás mértéke volt különösen szembetűnő. 1999-ben viszont a hőmérsékleti és sugárzási értékek menete éppen ellentétesen alakult az 1997-ben mért adatokkal.

A fenti tények felvetették annak lehetőségét, hogy az 1997-es év kritikus fejlődési, növekedési szakaszainak időjárási adatsorait az 1999-es évjárat megfelelő adataival

helyettesítsük. Ezáltal az induló paramétereket – talajnedvesség, tápanyag, térfogattömeg, növényszám – változatlanul hagyva módosított időjárási adatsorokkal futtattuk le a modellt, s elemeztük a korrekció hatásait a kukorica növekedési, fejlődési jellemzőire.

A szimulációs vizsgálat során az 1997-es év változatlan adatsora mellett további három futtatási változatot alkalmaztunk. Az első módosítás során a vetéstől a címerdifferenciálódásig tartó kritikus szakasz napi léptékű időjárási adatsorát 1999-es értékekkel helyettesítettük. A második változat megegyezett az elsővel, azzal az eltéréssel, hogy a víz- és nitrogénszimulációs modult kikapcsoltuk a modellben, így a program úgy futott le, mintha a víz és a nitrogén korlátlanul rendelkezésre állna a növény számára. A harmas számú módosított futtatási változatban a vetés–címerdifferenciálódás időszaka mellett a szemtelítődés kritikus szakaszának időjárási adatait is 1999-es értékekre cseréltük. A szimuláció alapjául a De 377 SC őszi szántásban beállított 50000-es hektáronkénti növényszámú populációja szolgált. Vizsgálatunk a modell által szimulált fontosabb növekedési és fejlődési jellemzők mellett a levélterület-index és a szárazanyag-termelés tenyészidőszakbeli dinamikájának modellezésére terjedt ki.

A mért és a modell által becsült fontosabb növekedési és fejlődési változók értékeit az eredeti és a módosított változatokban a 28. táblázat, valamint a 27. ábra tartalmazza. Az adatokból kitűnik, hogy mind az eredeti, 1997-es, mind az 1999-es év időjárási adatsoraival módosított futtatási változatokban a kukorica csírázása egységesen 1 napot vett igénybe. 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 levélmegjelenés sebességét, a tenyészócsúcs fejlődésére azonban nincs hatással. Mindez növeli a maximális levélszámot és késlelteti a nővirágzás időpontját, mivel a nővirágzás, azaz a levélnövekedés végét a maximális levélszám határozza meg a modellben. 1997-ben tehát a kritikus induktív fázisban mért alacsony hőmérséklet

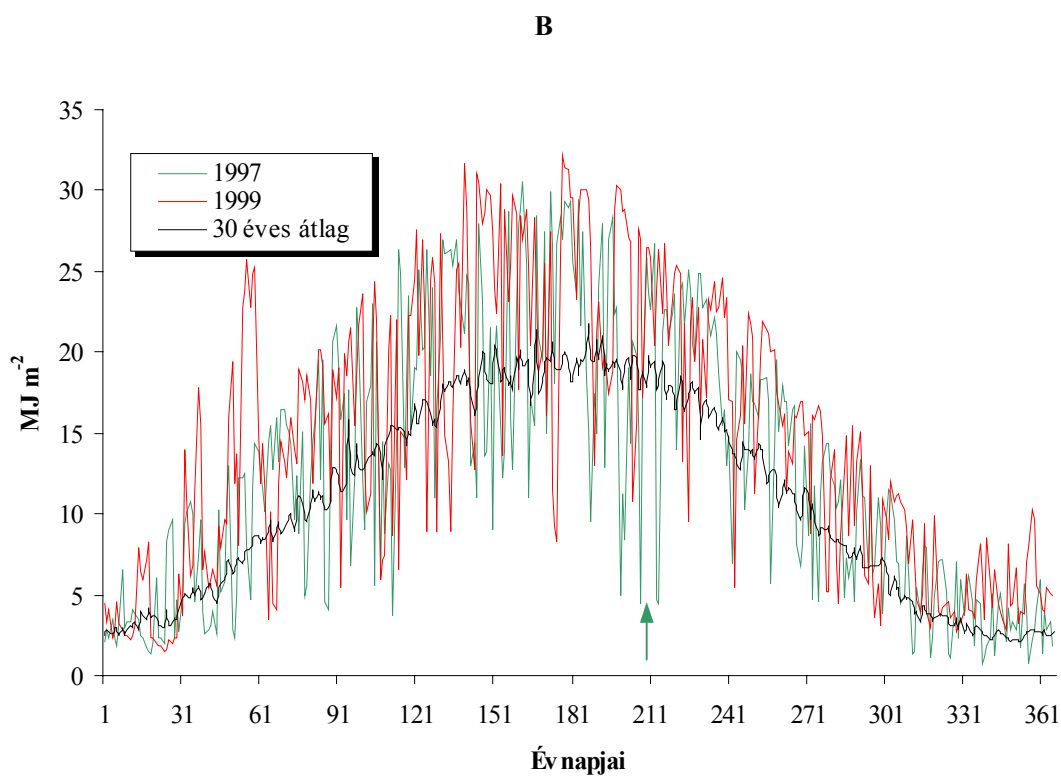
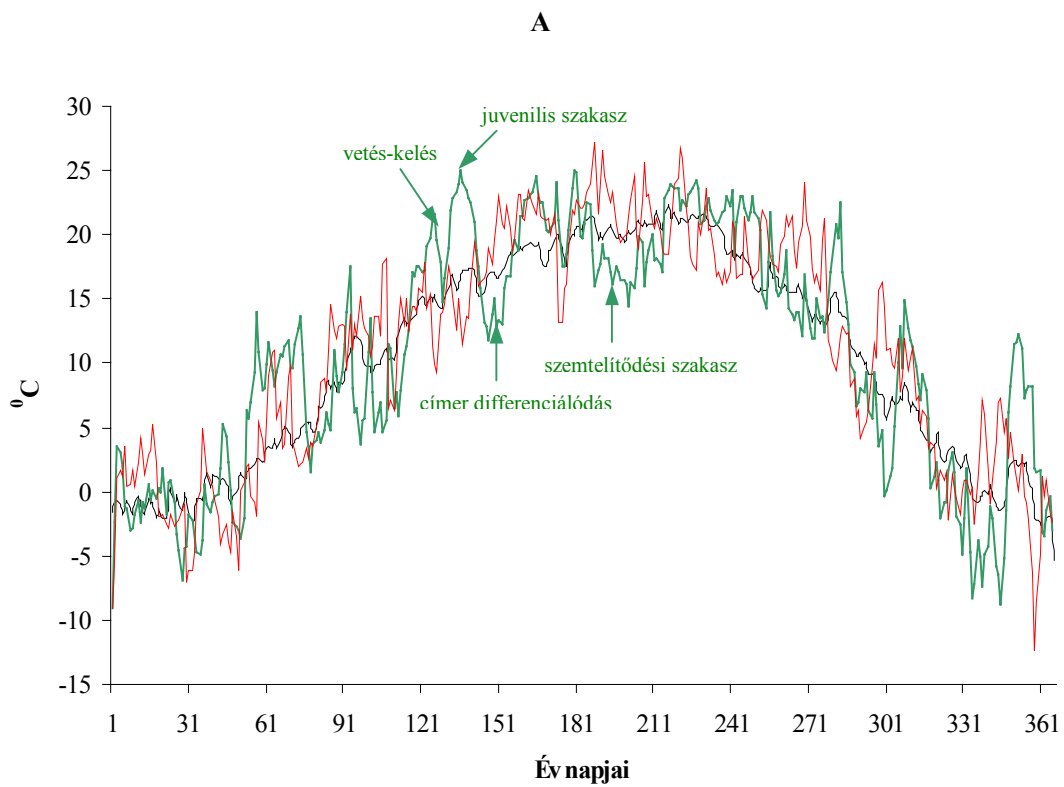
következtében csökkent a modellezett levélszám, a LAI_{max} , s tolódott korábbra a nővirágzás becsült időpontja is. Az eredeti, 1997-es időjárási adatokkal elvégzett modell-futtatás szerint a juvenilis fázis idején mért magas hőmérséklet a szakasz hosszát rövidítve gyorsította a nővirágzást, azonban a maximális levélszámra nem volt hatással.

Az első futtatási változatban elvégzett módosítások ellenére a modell a szemtermésre és a biomasszára ismételten igen alacsony becslési értékeket adott. A második és a harmadik változat eredményei azt bizonyítják, hogy 1997-ben nem a víz- és tápanyag-ellátottság limitálta a szárazanyag-gyapodás ütemét és a biomassza mennyiségét, hanem a szemtelítődés kezdeti és intenzív szakaszában mért, kiugróan alacsony globálsugárzás és hőmérsékleti értékek. Emellett nincs közvetlen összefüggés a fenológiai jellemzők és a biomassza pontatlan becslése között. Az 1997-ben mért kísérleti adatokhoz a hármas számú szimulációs változat modellezett értékei álltak a legközelebb, a modell kismértékű becslési hibával ugyan, de jól követte a szárazanyag-gyapodás és a LAI tenyészidőszakbeli dinamikáját. Az elvégzett szimulációs kísérlet igazolja, hogy az 1997-es év időjárásának anomáliái vezettek a kukorica fenológiai, valamint fejlődési, növekedési változóinak pontatlan becsléséhez.

28. táblázat. **Mért és a modell által becsült fontosabb növekedési és fejlődési jellemzők 1997-ben**

Változók	eredeti		módosított 1	módosított 2	módosított 3
	mért	becsült	Becsült	becsült	becsült
Csírázás ¹	- ²	1	1	1	1
Kelés ¹	14	8	14	14	14
Juvenilis szakasz vége ¹	- ²	17	28	28	28
Címer differenciálódás ¹	- ²	24	35	35	35
Nővirágzás ¹	67	60	67	67	68
Biológiai érettség ¹	129	122	128	128	128
Szemtermés (kg ha ⁻¹)	8133	6053	5354	5488	8006
Biomassza (kg ha ⁻¹)	15600	11720	11376	11871	14124
Ezerszemtömeg (mg szem ⁻¹)	276.5	261.5	261.6	263.2	277.3
Szemszám (szem m ⁻²)	2940	2315	2047	2085	2887
Szem cső ⁻¹	644	503	445	453	628
Max. LAI (m ² m ⁻²)	2.46	2.04	2.42	2.54	2.44
Harvest index (kg kg ⁻¹)	0.521	0.516	0.471	0.462	0.563
Max. levélszám	- ²	18.9	19.6	19.6	19.7

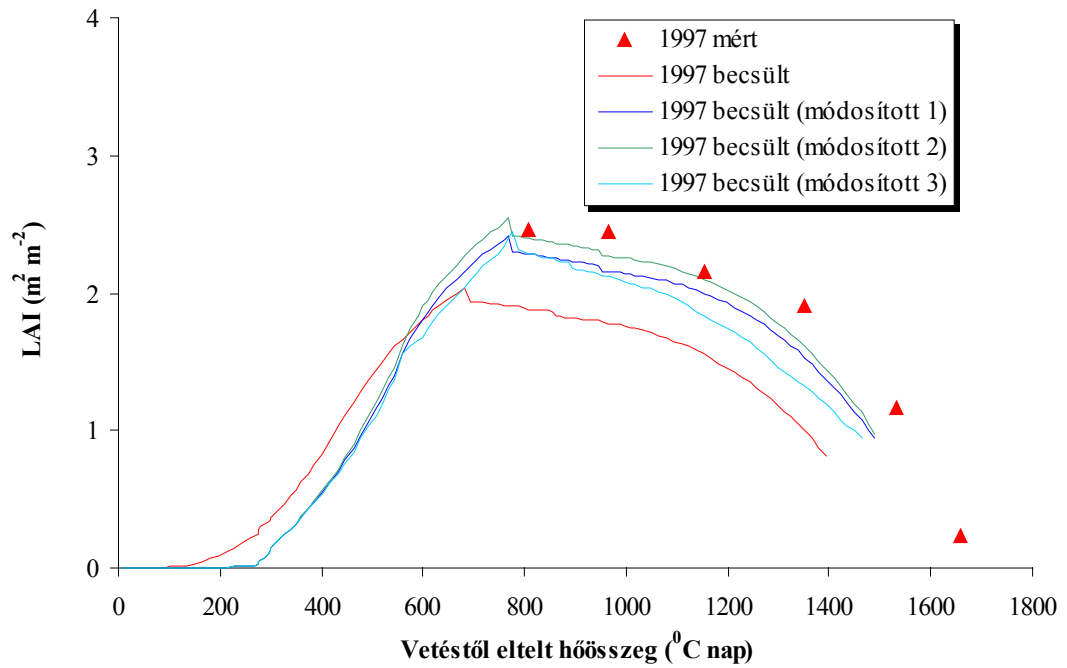
¹vetéstől eltelt napok számában kifejezve; ²nincs mért adat



26. ábra. A napi átlaghőmérséklet (A) és a napi globálisugárzás (B) alakulása 1997-ben, 1999-ben, illetve az elmúlt 30 év átlagában

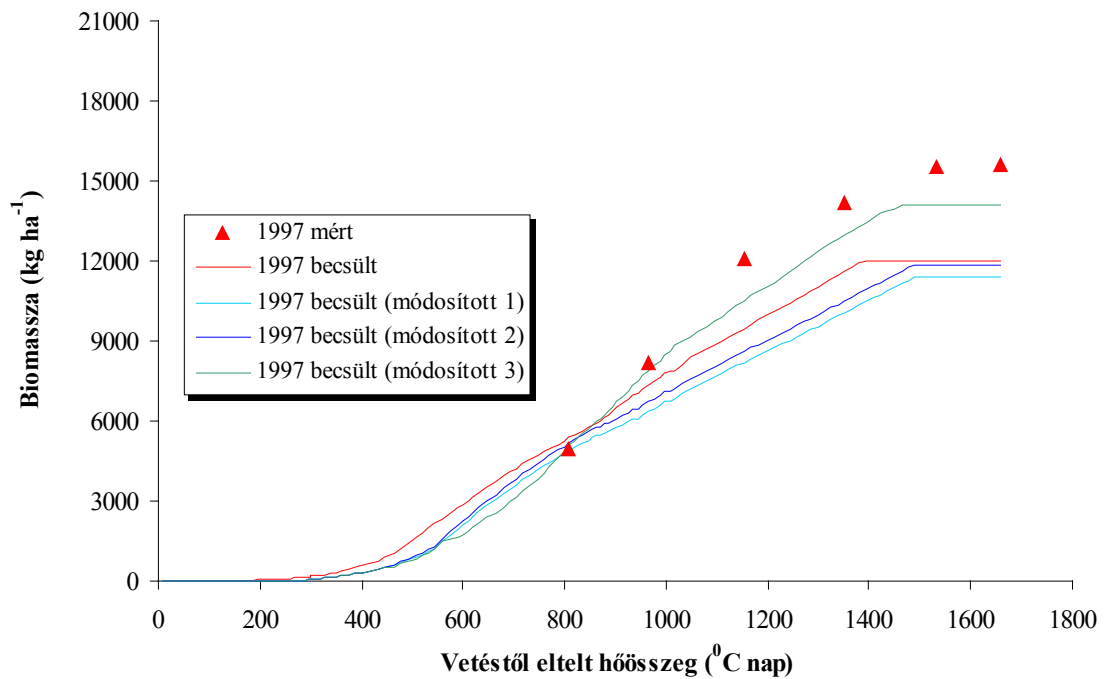
A

Őszi szántás, 50000 növény ha⁻¹, trágyázott



B

Őszi szántás, 50000 növény ha⁻¹, trágyázott



27. ábra. Mért és a Ceres-Maize modell által szimulált levélterület-index (A) és szárazanyag-gyarapodás (B) az 1997-es év tenyészidőszakában (De 377 SC)

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum Földműveléstani Tanszékének látóképi kísérleti telepén, mészlepedékes csernozjom talajon beállított többtényezős talajművelési tartamkísérletben három éven keresztül (1997- től 1999-ig) vizsgáltuk két kukorica hibrid (De 377 SC, DK 471 SC) biomassa produkcióját, a szemtermését és fenológiai jellemzőit az egyes növénytermesztési tényezők (talajművelés, műtrágyázás, növényszám) függvényében.

A Dolgozat alapvető célja volt a kukorica növekedése, a környezet és a termés kapcsolatrendszerének (talaj-növény-klíma kölcsönhatások) tanulmányozása, a kukorica termésének, és főbb növekedési, fejlődési jellemzőinek szimulációja eltérő műtrágyázási , növényszám, illetve talajművelési változatokban, valamint az egyes kukorica genotípusok termésképzésének, növekedési jellemzőinek elemzése. Célunk volt továbbá a vizsgálatokhoz használt Ceres-Maize 3.5 szimulációs modell (JONES és KINIRY, 1986) megbízhatóságának vizsgálata, ill. a modell adaptálása a fent említett kísérlet adatbázisán.

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

Méréseink szerint 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 szinifikáns hatását nem mutattuk ki sem 1998-ban, sem 1999-ben.

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 nitrogénveszteség a 15-20 cm-es szelvényben kialakult, károsan tömörödött talajréteg, illetve a szabadföldi vízkapacitást tartósan meghaladó talajnedvesség által okozott levegőtlen talajállapokra vezethető vissza.

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 alapművelés 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 növényesítés nem okozott következetesen kisebb vagy nagyobb állományheterogenitást. A kimutatott szóráskülönbségek a véletlennek tulajdoníthatóak, vagy a mintavételből eredő hibának tekinthetőek.

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

A modell kalibrálásához szükséges genetikai paraméterek megállapítása

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, P2-es és P5-ös paraméterek értékeit addig változtattuk, amíg a modell futtatásakor kapott, becsült fenológiai jellemzők időpontja megegyezett a kísérletben mért időpontokkal.

A kukorica fenológiai jellemzőinek becslése

Az elvégzett vizsgálatok eredményei szerint a modell pontosan becsli a szántóföldi kelés, a nővirágzás 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 rögzősége, a nedvességtartalom térbeli eloszlása, a vetőmag felülete és talajrészecskék közötti kapcsolat, a szármaradványok, a talajművelés módja és a végrehajtás ideje.

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 terméselemek becslése

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 ez a csövenkénti szemszám nagymértékű alul-, illetve az ezerszemtömeg túlzott mértékű felülbecslésével magyarázható.

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.

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 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.

Maximális levélterület-index

A modell által becsült LAI_{max} -értékek – a termésadatokhoz hasonlóan – 18-30 %-kal (De 377 SC), illetve 21-26 %-kal (DK 471 SC) megbízhatóan kisebbek voltak a mért levélborítottságná 1997-ben. 1998-ban a modell mindkét genotípusnál 5-10 %-kal becsülte túl a kísérletben mért értékeket. 1999-ben a De 377 SC szimulált levélborítottsága átlagosan 10-13 %-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 1999-ben az adatpontok az enyhe felülbecslés ellenére egyenletes eloszlást mutatnak, az 1997-es év tenyészidőszakából származó LAI-értékeket viszont szisztematikusan alulbecsülte a modell.

A mért és a modell által becsült szárazanyag-gyarapodás időbeli változásának értékelése

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 fellépett jelentős becslési hiba okainak felderítésére.

A mért és a modell által becsült levélterület-index időbeli változásának értékelése

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-gyarapodáshoz hasonlóan, a mindkét év tenyészidőszakában közel azonos mértékű levélborítottság ellenére az 1997-es esztendőben tapasztalt jelentős becslési hiba okait szimulációs kísérletekkel lehetne tisztázni.

A Ceres-Maize 3.5 modellel végzett szimulációs kísérletek

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-gyarapodás ütemét és a biomassza mennyiségét, hanem a szentelítődés kezdeti és intenzív szakaszában mért, kiugróan alacsony globálsugárzás és hőmérsékleti értékek. Emellett nincs közvetlen összefüggés a fenológiai jellemzők és a biomassza 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.

6. ÚJ ÉS ÚJSZERŰ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

- A talaj felső, 60 cm-es szelvényének tavaszi, vetés előtti nedvességekészlete elfogadható pontossággal becsülhető a CERES-Maize 3.5 szimulációs modell segítségével. 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. Tavaszi sekélytárcsás művelés esetén a szántott kezelés ásványi N-tartalmának 30-50 %-a hiányzik a vizsgált talajszelvényből. A nitrogénveszteség 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 növénytűrség 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.

7. IRODALOMJEGYZÉK

- ADELANA, B. O. – MILBOURN, G. M.: 1972. The growth of maize II. Dry matter production in three hybrids. *Journal of Agricultural Science. Cambridge.* 73-78.
- ALLISON, J. C. S.: 1969. Effect of plant population on the production and distribution on dry matter in maize. *Annals of Applied Biology.* 63. 135-144.
- ANDA, A.: 1986. A kukorica (*Zea mays* L.) levélfelületének meghatározására alkalmas módszerek összehasonlítása. 35. 2. 99-108.
- ANDERSON, F. L. – KAMPRATH, F. J. – MOLL, R. H.: 1985. Prolificacy and N-fertilizer effects on yield and N utilization in maize. *Crop Science.* 25. 598-602.
- ÁNGYÁN, J.: 1991. A növénytermesztés agroökológiai tényezőinek elemzése (gazdálkodási stratégiák, termőhelyi alkalmazkodás). Kandidátusi értekezés tézisei, Gödöllő.
- BACSI, ZS. – HUNKÁR, M.: 1994. Assessment of the impacts of climate change on the yields of winter wheat and maize, using crop models. *Időjárás.* 98. 2.
- BÁLINT, A. : 1977. A kukorica jelene és jövője. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- BALKO, L. G. – RUSSEL, W. A.:1980. Effects of rates of nitrogen fertilizer on maize inbred lines and hybrid progeny. I. Prediction of yield response. *Maydica. Bergamo.* 25. 2. 65-79.
- BALLANEGGER, R.: 1953. Talajvizsgálóti módszerkönyv. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- BANDEL, V. A. – FOX, R. H.: 1984. Management of nitrogen in New England and Middle Atlantic states. In R. D. Hauck (ed.). *Nitrogen in crop production.* ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI. 677-690.
- BÉLA, M. – BERZE, B.: 1982. Szárazanyag termelés és a talaj víz-háztartásának szabályozása. *Növénytermelés.* 31. 6. 639-543.
- BELÁK, S.: 1966. Talajművelési kísérletek eredményei (1954-1964 években). *Talajtermékenység.* 1. 98-107.
- BELTRAO, J. – ASHER, J. B. – RAGAB, R. – EL QUOSY – DEN BROEK – PEREIRA, L. S.: 1996 a. Simulating the effect of salinity on the wilting point of corn and its yield. *Sustainability of irrigated agriculture: crop-water-environment models. Proceedings of workshop at the 16th ICID Congress. Cairo. 17. September 1996.*
- BELTRAO, J. –SILVA, A. A. – ASHER, J. B. – DA SILVA, A. A.: 1996 b. Modelling effect of capillary water rise in corn yield in Portugal. *Irrigation and Drainage Systems.* 10. 2. 179-189.

- BENETT, O. L. – MATHIAS, E. L. – LUNDBERG, P. E.: 1973. Crop responses to no-till management practices on hilly terrain. *Agronomy Journal*. 65. 488-491.
- BERZSENYI Z.: 1988. A műtrágyázás hatása a kukorica (*Zea mays* L.) növekedésének és növekedési jellemzőinek dinamikájára. *Növénytermelés*. 37. 6. 527-540.
- BERZSENYI, Z.: 1989. A növényszám hatása a kukorica növekedésének és növekedési jellemzőinek dinamikájára. I. *Növénytermelés*. 38. 5. 395-407.
- BERZSENYI, Z.: 1992. A N-műtrágyázás és a növényszám hatása a kukorica (*Zea mays* L.) harvest-indexének, biomassza-produkciójának és szemtermésének változására az 1986-1990. években. *Növénytermelés*. 41. 1. 43-57.
- BERZSENYI, Z.: 1993 a. A N-műtrágyázás hatása a kukorica (*Zea mays* L.) növekedésének és növekedési jellemzőinek dinamikájára eltérő évjáratban. *Növénytermelés*. 42. 5. 457-471.
- BERZSENYI, Z.: 1993 b. A növényszám és az évjárat hatása a kukorica (*Zea mays* L.) szemtermésének és terméskomponenseinek alakulására az 1981-1992. években. *Növénytermelés*. 43. 1. 61.
- BERZSENYI, Z. – GYÖRFFY, B.: 1995. Különböző növénytermesztési tényezők hatása a kukorica termésére és termésstabilitására. 44. 5-6. 507-517.
- BERZSENYI, Z. – JANOSITS, L.: 1953. Tenyésztési kísérlet kukoricával. *Növénytermelés*. 2. 110-115.
- BERZSENYI, Z. – VARGA, K.: 1986. A kukorica hibridek optimális tőszámát és N-műtrágya dózisát meghatározó tényezők vizsgálata tartamkísérletben. XXVIII. Georgikon Napok, Keszthely. I. 280-290.
- BERZSENYI, Z. – VARGA, K. – BERÉNYI, GY.: 1994. A növényszám és az évjárat hatása a kukorica szemtermésének és terméskomponenseinek alakulására az 1981-1992. években. *Növénytermelés*. 43. 1. 61-75.
- BIRKÁS, M.: 1998. A kukorica-talajok állapota és a művelési rendszerek az 1990-es években. Gödöllő.
- BLEVINS, R. L. – COOK, D. – PHILLIPS, S. H. – PHILLIPS, R. E.: 1971. Influence of no-tillage on soil moisture. *Agronomy Journal*. 63. 593-596.
- BLEASDALE, J. K. A.: 1963. Relationships between set characters and yield in main crop potatoes. *Journal of Agricultural Science*. 64. 361-365.
- BOCCHI, S. – NUSINER, L. – MAGGIORE, T. – BORIN, M. – SATTIN, M.: 1994. Ceres-Maize (v. 2.1): two-year research for validating the crop growth model in the Po Valley

- (Italy). Proceedings of the third congress of the European Society For Agronomy. Padova University. Abano-Padova, Italy. 18-22 September 1994.
- BOCZ, E.: 1976. Trágyázási útmutató. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- BOCZ, E. – NAGY, J.: 1981. A kukorica víz- és tápanyagellátásának optimalizálása és a hatása a termés tömegére. Növénytermelés. 539-550.
- BOCZ, E. – ANTAL, J. – KÉSMÁRKI, I. – KISMÁNYOKY, T. – KOVÁCS, G. – KOVÁTS, A. – RAGASITS, I. – RUZSÁNYI, L. – SZABÓ, M. – VARGA, J.: 1996. Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- BODNÁR, E.:1987. A kukoricatermelés technológiája. Kukorica és Iparinövény Termelési Együttműködés (KITE) kiadványa, Nádudvar.
- BONCIARELLI, F. – MANOTTI, M.: 1975. Growth analysis of hibrid corn of different earliness. *Maidica*. Bergamo. 20. 39-55.
- BONHOMME, R. – RUDGET, F. – DERIEAUX, M.: 1991. Prise en compte de la photoperiode dans Ceres-Maize. In: Picard, D. *Physiologie et production du maïs*. Paris. 429-436.
- BROWN, R. H. – BEATY, E. R. – ETHERED, W. J. – HAYES, D. D.: 1970. Influence of row width and plant population on yield of two varieties of corn (*Zea mays*). *Agronomy Journal*. 62. 767-770.
- BURGESS, M. S. – MEHUYS, G. R. – MADRAMOOTOO, C. A.: 1996. Tillage and crop residue effect on corn production in Quebec. *Agronomy Journal*. 88. 792-797.
- BURROWS, W. C. – LARSON, W. E.: 1962. Effect of amount of mulch on soil temperature and early growth of corn. *Agronomy Journal*. 54. 19-23.
- BÚZÁS: 1987. Bevezetés a gyakorlati agrokémiába. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- CARBERRY, P. S. – MUCHOW, R. C. – McCOWN: 1989. Testing the Ceres-maize simulation model in a semi-arid tropical environment. *Field Crop Research*. 20. 297-315.
- CARLONE, M. R. – RUSSEL, W. A.: 1987. Response to plant densities and N levels for four maize cultivars from different ears of breeding. *Crop Science*. 27. 465-470.
- COLVILLE, W. L.: 1962. Influence of rate and method of planting on several components of irrigated corn yields. *Agronomy Journal*. 54. 279-300.
- CSAJBÓK, J.: 1998. A termelési tényezők, a talajnedvesség és a produkció összefüggései eltérő termesztési változatokban. PhD értekezés tézisei. Debrecen.
- DANG, Q. L.: 1992. A növényszám és a műtrágyázás hatása a kukorica növekedésére. Kandidátusi értekezés. Martonvásár.

- DANG, Q. L. – BERZSENYI, Z.: 1993. A műtrágyázás x növényszám interakció hatása a kukorica (*Zea mays* L.) biomassa produkciójára, szemtermésére és harvest-indexére különböző évjáratokban. *Növénytermelés*. 42. 2.171-184.
- DAUDET, F. A. – HARENA, T.: 1991. L'échelle phenologique dans Ceres-Maize. In: Picard, d. *Physiologie et production du maïs*. Paris. 419-428.
- DEBRECZENI, B. – DEBRECZENI BNÉ:1983. A tápanyag- és vízellátás kapcsolata. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- DEBRECENI BNÉ: 1985. A kukorica ásványi táplálkozása. In Szerk.: *A kukoricatermesztés kézikönyve*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- DEBRECZENI BNÉ: 1989. Az őszi búza és a kukorica fejlődéskori N-felvételének tanulmányozása. Akadémiai doktori értekezés tézisei, Keszthely.
- DeLOUGHERY, R. L. – CROOKSTON, R. T.: 1979. Harvest index of corn affected by population density maturity ratings and environment. *Agronomy Journal*. 71. 557-580.
- DELECOLLE, R. – RUDGET, F. – RIPOCHE, D. – GOSSE, G.: 1995. Possible effects of climate change on wheat and maize crops in France. *Climatic change and agriculture: Analysis of potential international impacts*. Proceedings of a symposium sponsored by the American Society of Agronomy in Minneapolis. 4-5 November 1992.
- DONALD, C. M. – HAMBLIN, J.: 1976. The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. *Advanced Agronomy*. 28. 361-405.
- DRIMBA, P. – NAGY, J.: 1998. A talajművelés hatásának eredményei a kukoricatermesztésben a kockázat figyelembe vételével. *Növénytermelés*. 47. 1. 59-70.
- DUNCAN, W. G.: 1958. The relationship between corn population and grain yield. *Agronomy Journal*. 50. 82-84.
- DUNCAN, W. G.: 1975. *Maize in crop physiology*. Szerk. Evans. University Press, London-New York. 23-50.
- DUWICK, D. N.: 1984. Genetic contribution to grain yield of US hybrid maize, 1930-1980. pp 15-47 in W. Feher, ed, *Genetic contribution to grain yield of five major crop plants*. CSSA special pub. No. 7. Crop Science Society of America 677 S. Segoe Road. Madison WI 53711.
- EIK, K. – HANWAY, J. J.: 1965. Some factors affecting development and longevity of leaves of corn. *Agronomy Journal*. 57. 7-12.
- EIK, K. – HANWAY, J. J.: 1966. Leaf area in relation to yield of corn grain. *Agronomy Journal*. 58. 16-18.

- ENTENMANN, T. A. – ALLISON, B. E. – VAN der PLOEG, R. R.: 1989. Abschätzung der Evapotranspiration eines Maisbestandes. Mitt. Dtsch. Bodenk. 139-132.
- EPPERSON, J. E. – HOOK, J. E. – MUSTAFA, J. R.: 1992. Stochastic dominance analysis for more profitable and less risky irrigation of corn. Journal of Production Agriculture. 5. 2. 243-247.
- EPPERSON, J. E. – HOOK, J. E. – MUSTAFA, J. R.: 1993. Dynamic programming for improving irrigation scheduling strategies of maize. Agricultural Systems. 42. 1-2. 85-101.
- FARAZDAGHI, H.: 1968. PhD thesis. Reading University. England.
- FENYVES, T.: 1997. A talajművelés és a trágyázás hatás a talaj állapotára és a kukorica termésére gödöllői barna erdőtalajon. Növénytermelés. 46. 3. 289-298.
- FILEP, GY.: 1988. Talajkémia. Akadémiai Kiadó, Budapest
- FORTIN, M.-C.: 1993. Soil temperature, soil water and no-till corn development following in-row residue removal. Agronomy Journal. 85. 571-576.
- FÖRGETEG, S.: 1964. Hozzászólás „A talaj mélyművelése” vitaulésen. MTA Agrártud. Oszt. Közl. 23. 3-4. 375-379.
- FÖRGETEG, S. – GYÖRGY BNÉ: 1968. Az őszi szántás optimális és gazdaságos mélységének és módjának megállapítása csernozjom talajokon. Talajtermékenység. 3. 2. 3-32.
- FRANCIS, A. C. – RUTGER, J. N. – PALMER, E. F. A.: 1969. A rapid method for plant leaf area estimation in maize (*Zea mays* L.). Crop Science. 9. 537-539.
- GAY, J. P.: 1988. Mais l'implantation determine le rendement. Cultivar. Liele. 231. 19-20.
- GAY, J. P. – MÉNÉTRIER, M. A.: 1980. Croissance et développement du maïs. Serv. Agric. Mulhouse. 1. 1-8.
- GÁNCS, L. – RAKK, I.: 1991. Az aszály és növényszám. Magyar Mezőgazdaság. 46. 19. 10-11.
- GEISLER, G.: 1985. Untersuchungen zur Wirkung von Stickstoff auf die Morphologie, die Trockenmassenbildung und die Aufnahmeleistung der Wurzelsystem von Mais-, Sommergersten und Ackerbohnen-Sorten unter Berücksichtigung der Temperatur III. Grundlagen zur Bestimmung von Aufnahmeleistungen. 2. Acker und Pflanzenbau. Berlin-Hamburg. 154. 1. 25-37.
- GIRARDID, P. – TOLLENAAR, M.: 1994. Fajon belüli interferencia hatása a kukorica levelének állásszögére. Crop Science. 34. 1. 151-155.

- GRIFFITH, D. R. – MANNERING, J. V. –GALLOWAY, H. M. –PARSONS, S. D. – RITCHIE, C. B.: 1973. Effect of eight tillage-planting systems on soil temperature, percent stand, plant growth and yield of corn on five Indiana soils. *Agronomy Journal*. 80. 595-605.
- GUPTA, S. C. – SCHNEIDER, E. C. – SWAN, J. B.: 1988. Planting depth and tillage interactions on corn emergence. *Soil Science Society. Agronomy Journal*. 52. 1122-1127.
- GYÁRFÁS, J.: 1925. Sikeres gazdálkodás szárazságban. Magyar dry-farming. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- GYÖRFFY, B.: 1965. A kukorica tápanyag-felvétele. In: Györffy, B. – I'so, I. – Bölöni, I.: 1965. Kukoricatermesztés. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 64-72.
- GYÖRFFY, B.: 1976. A kukorica termésére ható növénytermesztési tényezők értékelése. *Agrártudományi Közlemények*. 35. 239-266.
- GYÖRFFY, B.: 1979. Fajta, növényszám- és műtrágyahatás a kukoricatermesztésben. *Agrártudományi Közlemények*. 38. 309-311.
- GYÖRFFY, B.: 1990. Tartamkísérletek Martonvásáron. In: Martonvásár második húsz éve. Szerk. Kovács I. Martonvásár. 114-118.
- GYÖRFFY B. – BERZSENYI Z. (1992): Martonvásári vetésforgó kísérlet 30 év termésadatának összesítése, 1961-1990. In: Trágyázási kutatások 1966-1990. Szerk. Debreczeni B. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- GYÖRFFY, B. – I'SO, I.: 1966. A kukorica. In: A növénytermesztés kézikönyve. Szerk. Láng. I. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 243.
- GYÖRFFY, B. – SZABÓ, J. L.: 1968. Tavaszi szántás, minimum tillage és a direktvetés lehetősége a kukoricatermesztésben. *Kukoricatermesztési Kísérletek 1965-1968*. Akadémiai Kiadó, Budapest. 143-156.
- GYÖRFFY, B. – SZABÓ, J. L.: 1979. A talajművelés optimális mélysége és a no-tillage vizsgálata kukorica monokultúrában. *Kukoricatermesztési Kísérletek 1968-1974*. Akadémiai Kiadó, Budapest. 186-206.
- HALL, D. O. – SCURLOCK, J. M. O. – BOLHAR-NORDENKAMPF, H. R. – LEEGOOD, R. C. – LONG, S. P. (1994): *Photosynthesis and Production in a Changing Environment*. Chapman & Hall, London.
- HANWAY, J. J.: 1962. Corn growth composition in relation between leaf weight and grain yield. *Agronomy Journal*. 54. 145-148.
- HANWAY, J. J.: 1966. How a corn plant develops. *Iowa State Univ. Spec Rpt*. 48.

- HANWAY, J. J. – RUSSEL, V. A.: 1969. Dry matter accumulation in corn (*Zea mays* L.) plants. Comparison among single-cross hybrid. *Agronomy Journal*. 61. 947-951.
- HARGREAVES, J. N. G. – McCOWN: 1998. Ceres-Maize: A versatile interactive version of Ceres-Maize. CSIRO Trop. Agron. Tech. Mem. Australia.
- HASHEMI, A. – DEZFOULI-HERBERT, S. J.: 1992. Intensifying plant density response of corn with agricultural shade. *Agronomy Journal*. 84. 547-551.
- HEGEDŰS, I.: 1984. Tavaszi talajművelési módok vizsgálata kukorica monokultúrában. 33. 2. 171-177.
- HERBECK, J. H. – MORDOCK, L. W. – BLERINS, R. L.: 1986. Tillage system and date of planting effect on yield of corn on soils with restricted drainage. *Agronomy Journal*. 78. 824-826.
- HODGES, T. – BOTNER, D. – SAKAMOTO, C. – HAYS HAUG, J.: 1987. Using the Ceres-Maize model to estimate production of the US Corn Belt. *Agric. For. Meteorol.* 45. 293-303.
- HOLLIDAY, R.: 1960. Population and crop yield. *Nature*. 186. 22-24.
- HOLLÓ, S.: 1993. A szerves- és műtrágyázás hatásának összehasonlítása vetésforgó trágyázási kísérletekben. Kandidátusi értekezés tézisei, Kompolt.
- HUDSON, H. G.: 1941. Population studies with wheat. *Journal Agronomy Science*. 31. 138-144.
- HUNKÁR, M.: 1994. Validation of crop simulation model Ceres-Maize. In: *Időjárás*. 98. 1.
- HUNTER, R. B.: 1980. Increased leaf area (source) and yield of maize in short season areas. *Crop Science*. Madison. Wis. 20. 5. 571-574.
- HUQ, S. M. I.: 1983. Fertilizer effects on yield nitrogen content and amino acid composition of maize grain. *Agronomie*. Paris. 3. 10. 965-970.
- HUZSVAI, L.: 2000 a. Számítógépes döntéstámogató rendszerek a szaktanácsadás szolgálatában. In: *Fenntartható mezőgazdaság – minőségi termelés*. Szerk. Nagy János. Vider Plussz, Debrecen. 108-157.
- HUZSVAI, L.: 2000 b. A talaj és a környezet kölcsönhatások értékelésének módszerei. PhD értekezés tézisei. Debrecen.
- HUZSVAI, L. – NAGY, J.: 1994. Kukorica (*Zea mays*. L) tőszám és termésösszefüggés elemzése különböző biológiai érvényességgel rendelkező modellekkel. *Növénytermelés*. 43. 6. 533-544.

- HUZSVAI, L. – PETŐ, K. – KOVÁCS, G. J.: 1995. Szimulációs modell alkalmazása a növénytermesztési kutatásban. Tiszántúli Mezőgazdasági Tudományos Napok. Hódmezővásárhely. 149-151.
- IGLESIAS, A. – MINQUEZ, M- I.: 1995. Prospects for maize production in Spain under climate change. Climate change and agriculture: Analysis of potential international impacts. Proceedings of a symposium sponsored by the American Society of Agronomy in Minneapolis. 4-5 November 1992.
- IGLESIAS, A. – LOPEZ-CORCOLES, H. – CANADAS, W. – MINQUEZ, M- I. – BORIN, M. – SATTIN, M.: 1994. Current and future strategies for water use optimization in corn hybrids of different growth durations under climate change scenarios. Proceedings of the third congress of the European Society for Agronomy. Padova University. Abano-Padova. 18-22 September 1994.
- I'SO, I.: 1966. Tenyészterület kísérletek különböző hibridekkel. In: Kukoricatermesztési Kísérletek 1965-1968. Szerk. I'so, I. Akadémiai Kiadó, Budapest. 276-283.
- JARVIS, R. H.: 1962. Studies on lucerne and lucerne gras leys. Journal of Agric. Science. 59. 281-286.
- JOHNSON, G. R.: 1973. Relationship between yield and several yield components in a set of maize hybrids. Crop Science. 13. 649-651.
- JOHNSON, M. D. – LOWERY, B.: 1985. Effect of three conservation tillage practices on soil temperature and thermal properties. Soil Science Society. Agronomy Journal. 49. 1547-1552.
- JONES, C. A. – KINIRY, J. R.: 1986. Ceres-Maize. A simultaion model of maize growth and development. College Station. Texas A & M University Press.
- KÁPOSZTA, J.: 1968. Néhány fontosabb agrotechnikai tényező szerepe a kukoricatermesztés növelésében. Talajtermékenység. 3. 1. 41-59.
- KÁPOSZTA, J.: 1969. A kukorica állománysűrűsége és a műtrágyázás közötti összefüggések. In: Kukoricatermesztési Kísérletek 1965-1968. (szerk. I'so I.), Akadémiai Kiadó, Budapest, 292-298.
- KAVLEN, D. L. – CAMP, C. R.: 1985. Row spacing, plant population and water management effects on corn in the Atlantic Coastal Plain. Agronomy Journal. 77. 393-398.
- KAVLEN, D. L. – KRAMER, L. A. – LOGSDON, S. D.: 1998. Field-scale nitrogen balances associated with long-term continous corn production. Agronomy Journal. 90. 5. 644-650.

- KEATING, B. A. – WAFULA, B. M. – WATIKI, J. M. – PROBERT, M. E.: 1992. Development of modelling capability for maize in semiarid eastern Kenya. Proceedings of a Symposium held in Nairobi. Kenya, 10-11 December 1990.
- KEMENESY, E.: 1972. Földművelés - Talajerőgazdálkodás. Akadémiai Kiadó, Budapest
- KINIRY, J. R. – WILLIAMS, J. R. – VANDERLIP, R. L. – ATWOOD, J. D. – REICOSKY, D. C. – MULLIKEN, J. – COX, W. J. – MASCAGNI, H. J. – HOLLINGER, S. E. – WIEBOLD, W. J.: 1997. Evaluation of two maize models for nine US locations. *Agronomy Journal*. 89. 3. 421-426.
- KISMÁNYOKY, T. – BALÁZS, J.: 1996. Keszthelyi tartamkísérletek. PATE, Keszthely.
- KISMÁNYOKY, T. – HOFFMANN, S.: 1993. The dynamics of mineral N in a crop rotation with high cereal contraction. The 150th Anniversary Conference of the Rothamsted Experimental Station, 112-115.
- KLOCKE, N. L. – TODD, R. W. – SCHNEEKLOTH, J. P.: 1996. Soil water evaporation in irrigated corn. *Applied Engineering in Agriculture*. 12. 3. 301-306.
- KOVÁCS, G. J.: 1982. A kukorica víz- és tápanyag-dinamikájának kritikus ökofizikai kapcsolata. *Növénytermelés*. 31. 4. 355-365.
- KOVÁCS, G. J.: 1995. A Ceres-modell felhasználása szakterületünkön. *Agrokémia és Talajtan*. 44. 1-2. 249-262.
- KOVÁCS, G. J. – DUNKEL, Z.: 1998. A klímaváltozás várható következményei Magyarország szántóföldjein a következő félszázadban. In: *Az éghajlatváltozás és következményei. Meteorológiai Tudományos Napok '97*. OMSZ kiadvány. Szerk.: Dunkel Zoltán. 181-193.
- KOVÁCS, G. J. – NÉMETH, T.: 1995 a. Nitrogénforgalom modellezése tartamkísérletek adatbázisán. *Agrokémia és Talajtan*. 44. 3-4. 545-551.
- KOVÁCS, G. J. – NÉMETH, T.: 1995 b. Termés és nitrát-felhalmozódás modellezése tartamkísérletben. *Agrokémia és Talajtan*. 44. 1-2. 89-98.
- KOVÁCS, G. J. – NAGY, J.: 1997. Test runs of Ceres-Maize for yield and water use estimations. In: *Soil Plant and Environment Relationships . Proceedings of the First and Second International Seminars on Soil and Plant Science*. Debrecen. 120-136.
- KOVÁCS, G. J. – NÉMETH, T. – RITCHIE, J. T.: 1995. Testing simulation models for the assessment of crop production and nitrate leaching in Hungary. *Agricultural Systems*. 49. 4. 385-397.

- KOVÁCS, G. J. – RITCHIE, J. T.: 1994. Using simulation models to estimate nitrate leaching and crop production at the farm level in Hungary. Invited paper at ASA-CSSA-SSSA Annual Meeting. Agronomy Abstract 21. Seattle, Washington.
- KOVÁCS, G. J. – RITCHIE, J. T. – WERNE, A. – MÁTHÉ-GÁSPÁR, G. – MÁTHÉ, P.: 1989. Modelling the leaf area development of different maize genotypes. Part II. IBSNAT Symposium. Proceedings of 81st Annual Meeting of the American Society of Agronomy. Las Vegas, Nevada.
- KOVÁTS, A.: 1974. Talajművelési kísérletek kukorica monokultúrában. Talajtermékenység. 5. 1-9.
- KRANTZ, B. A. – CHANDLER, W. W.: 1951. Lodging, leaf-composition and yield of corn as influenced by heavy applications of nitrogen and potash. Agronomy Journal. 43. 547-552.
- LAHROUNI, A – LEDENT, J. F.: 1989. Croissance du Mais en Belgique et temperature: etude par simulation de variantes climatiques. Rev. Agric. 42. 193-205.
- LAHROUNI, A – LEDENT, J. F.: 1990. Effect de la temperature et du rayonnement solaire sur le rendement du Mais en Belgique: etude par simulation. Rev, Agric. 43. 361-375.
- LAHROUNI, A – LEDENT, J. F. – SOLAR, R. C. – MOURAUX, D.: 1993. Testing the Ceres-Maize model in Belgian conditions. European Journal of Agronomy. 2. 3. 193-203.
- LANG, E. L. – PENDLETON, J. W. – DUNGAN, G. H.: 1956. Influence of population and N levels on yield and protein and oil contents of nine corn hybrids. Agronomy Journal. 48. 284-289.
- LÁNG, G.: 1966. A növénytermesztés kézikönyve I. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- LÁNG, G.: 1976. Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- LÁNG, G. és mtsai.: 1974. Trágyázási kutatások eredményei. 2. Kukorica (1966-1970), Kutatóintézeteket Ellátó Állomás kiadványa, Budapest.
- LÁSZTITY, B. – BICZOK, GY. – ELEK, É. –RUDA, M.: 1985. A műtrágyázás hatása a kukorica fejlődésére és tápanyagforgalmára I. Szárazanyag felhalmozódás, tápelemtartalom és tápelemarányok. Agrokémia és Talajtan, 34. 1-2. 137-152.
- LORGEOU, J.: 1991. Simulation du nombre de grains par Ceres-Maize. In: Picard, D. Physiologie et production du mais. Paris. Univ. Sud. 455-468.
- LŐRINCZ, J. – SIPOS, S. – MENYHÉRT, Z.– ÁNGYÁN, J.–RADICS, L.: 1981. Elővetemény-hatás a kukoricatermesztésben. I. Az elővetemény hatása a

- kukoricaállományban felhasznált műtrágya hatékonyságára és a hozamokra. *Növénytermelés*. 3. 557-565.
- MACKAY, A. D. – KLADIVKO, E. J. – BARBER, S. A. – GRIFFITH, D. R.: 1987. Phosphorus and potassium uptake by corn in conservation tillage systems. *Soil Science Society. Agronomy Journal*. 51. 970-974.
- MAKADHO, J. M.: 1996. Potential effects of climate change on corn production in Zimbabwe. *Climate Research*. 6. 2. 147-151.
- MANRIQUE, L. A. – HODGES, T.: 1991. Development and growth of tropical maize at two elevations in Hawaii. *Agronomy Journal*. 83. 305-310.
- MAUTIN, C. E. – ACEVEDO, M. F. – JAIMEZ, R. – ANDRESSEN, R. – HARWELL, M. A. – ROBOCK, A. – AZOCAR, A.: 1995. *Climatic Change*. 29.2. 189-211.
- MEISINGER, J. J. – BANDE, V. A. – STANFORD, G. – LEGG, J. O.: 1985. Nitrogen utilization of corn under minimum tillage and moldboard plow tillage. In: Four year results using labelled N fertilizer on an Atlantic Coastal Plain Soil. *Agronomy Journal*. 77. 602-611.
- MENYHÉRT, Z.: 1985. A kukoricatermesztés kézikönyve. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- MENYHÉRT, Z. – ÁNGYÁN, J. – RADICS, L.: 1980. A levélfelület-index (LAI), a fényviszonyok és a termés kapcsolata eltérő vetésidőjű és tenyészterületű kukorica állományokban. *Növénytermelés*. 29. 4. 357-369.
- MONTGOMERY, E. G.: 1911. Correlation studies of corn. Nebraska Agricultural Experimental Station. Ann. Rep. University of Nebraska. 24. 108-159.
- NAGY, J.: 1984. Műtrágyázás hatása a kukorica hibridek termésére mészlepedékes csernozjom talajon. *Növénytermelés*. 30. 3. 253-264.
- NAGY, J.: 1995. A talajművelés, a műtrágyázás, a növényszám és az öntözés hatásának értékelése a kukorica (*Zea mays* L.) termésére. *Növénytermelés*. 44. 3. 251-260.
- NAGY, J.: 1996 a. A műtrágyázás és a talajművelés kölcsönhatása a kukoricatermesztésben. *Növénytermelés*. 45. 3.
- NAGY, J.: 1996 b. A növényszám és a talajművelés kölcsönhatása a kukoricatermesztésben. *Növénytermelés*. 45. 5-6. 543-552.
- NAGY, J. – HUZSVAI, L.: 1995. Az évjárat hatás értékelése a kukorica (*Zea mays* L.) termésére. *Növénytermelés*. 44. 4. 3-391.

- NAGY, J. – HUZSVAI, L.: 1997. The effects of precipitation on the yield of maize (*Zea mays* L.) yield. *Current Plant and Soil Science in Agriculture. Soil, Plant and Environment Relationships*. 78-88.
- NAGY, J. – HUZSVAI, L. – KOVÁCS, G.: 1995. Modelling the fate agrochemicals and fertilizers in the environment. *ESA Proceedings Venice*. 5.
- NAGY, J. – HUZSVAI, L. – MIKA, J. – DOBI, I. – FODOR, N. – KOVÁCS, G. J.: 1999. A method to link general circulation model to weather generator and crop models for long term decisions. *2nd International Conference on Multiple Objective Decision Support Systems for Land, Water and Environmental Management MODSS'99. Ausztrália*.
- NAGY, J. – HUZSVAI, L. – PETŐ, K.– KOVÁCS, G.: 1994. Validation of crop models based on field experiments. *Unipress, Padova*. 409-420.
- NAGY, J.- HUZSVAI, L. – TAMÁS, J. – KOVÁCS, G. J. – MÉSZÁROS, I.: 1996. The effects of irrigation, fertilization, tillage and plant density on corn (*Zea mays* L.) yield. *ESA Wageningen University*. II. 580-581.
- NAGY, J. – PETŐ, K.– HUZSVAI, L. – KOVÁCS, G.: 1994 . Results of university maize (*Zea mays* L.) hybrid trials in Hungary. *3rd ESA Congress Proceedings. Abano-Padova*. III. 194-195.
- NELDER, J. A.: 1963. Yield density and Jarvis's lucerne data. *Journal of Agric. Science*. 426-429.
- NÉMETH, T. – BÚZÁS, I.: 1991. Nitrogéntrágyázási tartamkísérlet humuszos homok- és mészlepedékes csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan*, 40: 399-408.
- NÖSBERGER, J.: 1971. Einfluss der Bestandesdichte auf die Ertragsbildung bei Mais I. *Z. Acker und Pflanzenbau*. 133. 215-232.
- NUÑEZ, R. – KAMPRATH, E. : 1969. Relationship between N response plant population and row width on growth and yield of corn. *Agronomy Journal*. 61. 279-282.
- OTEGUI, M. E. – RUIZ, R. A. – PETRUZZI, D.: 1996. Modelling hybrid and sowing date effects on potential grain yield of maize in a humid temperature region. *Field Crop Research*. 47. 2-3. 169-178.
- PALMER, A. F. E., – HEICHEL, U. H. – MUSGRAVE, R. B.: 1973. Patterns of translocation, respiratory loss, and distribution of ¹⁴C in maize hybrid labelled after flowering. *Crop Science*. 13. 371-376.

- PANG, X. P. – LETEY, J. – WU, L.: 1997. Yield and nitrogen uptake prediction by Ceres-Maize model under semiarid conditions. *Soil Science Society of America Journal*. 61. 1. 254-256.
- PÁSZTOR, K.: 1964. A tenyésztés terület hatásának vizsgálata a kukorica termésére. In: *Kukoricatermesztési Kísérletek 1961-1964*. Szerk I'so, I. Akadémiai Kiadó, Budapest. 294-307.
- PEARCE, R. B. – MOCK, J. J. – BAILEY, T. B.: 1975. Rapid method for estimating leaf area per plant in maize. *Crop Science*. 15. 691-694.
- PETŐ, K. – HUZSVAI, L. – KOVÁCS, G.: 1994. A műtrágyázás hatásának vizsgálati módszere a Ceres-Maize 2.1 modell segítségével kukorica monokultúrában. *Növénytermelés*. 43. 6. 521-531.
- PETŐ, K. – HUZSVAI, L. – KOVÁCS, G.: 1995. A főbb termesztési tényezők és a talajnedvesség összefüggéseinek értékelése Ceres-Maize modell szimulációs modell alkalmazásával. *Tiszántúli Mezőgazdasági Tudományos Napok*. Hódmezővásárhely. 170-173.
- PETRASOVITS, I. – BALOGH, I.: 1975. *Növénytermesztés és vízgazdálkodás*. Mg-i Kiadó, Budapest. 71.
- PINTÉR, L.: 1979. A kukorica (*Zea mays* L.) hibridek levélfelületének gyors meghatározási lehetőségei hazai biológiai viszonyok között. *Növénytermelés*. 28. 5. 397-402.
- PINTÉR, L. – NÉMETH, J. – PINTÉR, Z.: 1977. A levélfelület változásának hatása a kukorica szemtermésére. *Növénytermelés*. 26. 1. 21-26.
- PIPER, E. L. – WEISS, A.: 1990. Evaluating Ceres- Maize for reduction in plant population or leaf area during the growing season. *Agricultural Systems*. 33. 3. 299-213.
- PLANTERAUX, S. – GIRARDIN, P. – FOUQUET, D. – CHAPOT, J. H.: 1991. Evaluation et analyse de sensibilité du modèle Ceres-Maize en conditions alsaciennes. *Agronomie*. 11. 1-8.
- PRETTENHOFFER, I. – GRATZL, D.: 1961. A tiszántúli szikeseken végzett altalajlazítási kísérletek eredményei (1955-59) I. Javított, mésztelen, semleges körüli szikesek. *Agrokémia és Talajtan*. 10. 1. 23-40.
- PRÉCSÉNYI, I. – CZIMBER, G. – CSALA, Z. – SZÖCS, E. – MOLNÁR, E. – MELKO, E.: 1976. Studies on the growth analysis of maize hybrids OSSK 218 and DKXL 342. *Acta Botanica. Acad. Sci. Hungariae*. 22. 185-200.

- PRIOR, C. L. – RUSSEL, W. A.: 1974. Yield performance of nonprolific and prolific maize hybrids at six plant densities. *Crop Science*. 15. 482-486.
- PROKSZÁNÉ, P. ZS. – SZÉLL, E. – KOVÁCSNÉ, K. M.: 1995. A N-műtrágyázás hatása a kukorica (*Zea mays* L.) termésére és néhány beltartalmi mutatójára, eltérő évjáratokban, réti öntéstalajon. *Növénytermelés*. 44. 1. 33-42.
- RAIMBAULT, B. A. – VYN, T. J.: 1991. Crop rotation and tillage effects on corn growth and soil structural stability. *Agronomy Journal*. 83. 979-985.
- RAJKAI, K.: 1988. A talaj víztartó képessége és különböző talajtulajdonságok összefüggéseinek vizsgálata. *Agrokémia és Talajtan*. 36-37. 15-30.
- REED, A. J. – SINGLETARY, G. W. – SCHLUSSLER, J. R. – WILLIAMSON, D. R. – CHRISTY, A. L.: 1988. Shading effects on dry matter and nitrogen partitioning, kernel number, and yield of maize. *Crop Science*, Madison, 28.5. 819-825.
- RETTA, A. – VANDERLIP, R. L. – HIGGINS, R. A. – MOSHIER, L. J. – FEYERKERN, A. M.: 1991. Suitability of corn growth models for incorporation of weed and insect stresses. *Agronomy Journal*. 83. 757-765.
- RITCHIE J. T.: 1981. Soil water availability. *Plant and Soil*. 58. 327-338.
- RITCHIE et al.: 1994. Ceres Cereal Generic Model. Fortran source code. Michigan State University. East-Lansing, MI.
- RUDGET, F. – BONHOMME, R.: 1991. Applications et utilisations de Ceres-Maize dans différentes régions du monde. In: Picard, D. *Physiologie et production du maïs*. Paris. 413-418.
- RUSSEL, W. A.: 1968. Testcrosses of one and two-ear types of Corn Belt maize inbreds. In: Performance at four plant densities. *Crop Science*. 8. 244-247.
- RUSSEL, W. A.: 1984. Further studies on the response of maize inbred lines to N fertilizer. *Maydica*. XXIX. 141-150.
- RUSSEL, W. A.: 1991. Genetic improvement of maize yields. *Advance Agronomy*. 46. 245-298.
- RUZSÁNYI, L.: 1973. A műtrágyázás hatása egyes szántóföldi növények vízfogyasztására és vízhasznosítására. *Növénytermelés*, 23. 3. 249-258.
- RUZSÁNYI, L.: 1974. A műtrágyázás hatása egyes szántóföldi növényállományok vízfogyasztására és vízhasznosítására. *Növénytermelés*. 23. 3.
- RUZSÁNYI, L.: 1981. Az öntözés szükségessége és az öntözővíz hasznosulása a főbb szántóföldi növénykultúráknál. *Növénytermesztési Szimpózium*. Debrecen. II. 7-9.

- RUZSÁNYI, L.: 1987. Új mérési módszer. Agrotechnika a kukoricatermesztésben. Magyar Mezőgazdaság. 42. 18. 8-9.
- RUZSÁNYI, L.: 1992 a. A főbb növénytermesztési tényezők és a vízellátás kölcsönhatásai. Akadémiai Doktori Értekezés. Debrecen.
- RUZSÁNYI, L.: 1992 b. A N-műtrágyázás hatása a termésre és a talajszelvény nitrátosodására. Növénytermelés. 41. 6. 497-510.
- RUZSÁNYI, L. – PETŐ, K.: 1993. A vetésváltás és a trágyázás hatása a talajnedvességre. Növénytermelés. 42. 1. 85-94.
- SAKA, A. R. – KUMWENDA, J. D. T. – THORTON, P. K. – SINGH, U. – DENT, J. B. – CRASWELL, E. T.: 1994. Modelling of maize growth and development in Malawi. Soil fertility and climatic constraints in dryland agriculture: Proceedings of ACIAR-SACCAR Workshop. Zimbabwe. 30 August- 1 September 1993.
- SÁRVÁRI, M.: 1982. A tőszám növelésének hatása eltérő tenyészidejű kukorica hibridek termésére és állóképességére réti talajon. Növénytermelés. 31. 3. 225-236.
- SÁRVÁRI, M.: 1984. különböző kukorica hibridek tápanyag-reakciója réti talajon. Növénytermelés. 33. 6. 549-558.
- SÁRVÁRI, M.: 1995 a. A kukorica hibridek termőképessége és trágyareakciója réti talajon. Növénytermelés. 44. 2. 179-191.
- SÁRVÁRI, M.: 1995 b. A tőszám szerepe a fajtaspecifikus kukoricatermesztési technológiában. Növénytermelés. 44. 261-270.
- SHARPE, P. R. – DENT, J. B.: 1968. The determination and economic analysis of relationships between plant population and yield of main crop potatoes. Journal of Agric. Science. 70. 123-129.
- SHINOZAKI, K. – KIRA, T.: 1956. J. Inst. Polytech. Osaka City Univ. D7. 35-72.
- SIMS, A. L. – SCHEPERS, J. S. – OLDON, R. A. – POWER, J. F.: 1998. Irrigated corn yield and nitrogen accumulation response in a comparison of no-till and conventional till. Agronomy Journal. 90. 5. 630-637.
- SINCLAIR, T. R.: 1984. Leaf area development in field-drown soyabeans. Agronomy Journal. 76. 141-146.
- SINCLAIR, T. R. – BENETT, J. M. – MUCHOW, R. C.: 1990. Relative sensitivity of grain yield and biomass accumulation to draught in field-grown maize. Crop Science. 30. 690-693.
- SIPOS, G.: 1972. Földműveléstan. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

- SIPOS, S.: 1963. Az optimális és gazdaságos altalajlazítás mélységének megállapítása réti agyag és szikes talajokon. Kísérletügyi Közl. 55/a. 2. 3-22.
- SIPOS, S.: 1968. Talajművelési és trágyázási rendszerek hatása a kukorica termésére. Kukoricatermesztési Kísérletek 1965-1968. Akadémiai Kiadó, Budapest. 156-158.
- SIPOS, S – HEGEDŰS, S.: 1982. A kukoricatermelés, a talajművelés és a műtrágyázás közötti összefüggések. Növénytermelés. 31. 3. 245-254.
- STAMP, P.:1987. Growth patterns of early maturing maize cultivars. Journal of Agronomy and Crop Science. 159. 101-107.
- STRINGFIELD, G. H. – THATCHER, L. G.: 1947. Stands and methods of planting corn hybrids. Agronomy Journal. 39. 995-1010.
- SURÁNYI, J.: 1957. A kukorica és termesztése. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- SWAN, J. B. – HIGGS, R. L. – BAILEY, T. B. – WOLLENHAUPT, N. C. – PAULSON, W. H. – PETERSON, A. E.: 1993. Surface residue and in-row treatment effects on long-term no-tillage continuous corn.
- SZALÓKI, S.: 1988. Az öntözéses gazdálkodás újabb kutatási eredményei Tanulmányok. ÖKI Szarvas.
- SZIRTES, V. – GÁL, Jné: 1978. A kukoricatermesztés fontosabb paraméterei csernozjom talajon I. Talajpórusrétfogat igény. 27. 3. 255-267.
- TETIO-KAGHO, F. – GARDNER, F. P.: 1988. Response of maize to plant population density II. Reproductive development, yield, and yield adjustments. Agronomy Journal. 80. 935-940.
- THIRAPORN, R. – GEISLER, G. – STAMP, P.: 1987. Effects of nitrogen fertilization on yield and yield components of tropical maize cultivars. Journal of Agronomy and Crop Science. 159. 9-14.
- THORTON, P. K – HANSEN, J. W.: 1996. A note on regressing real-world data on model output. Agricultural Systems. 50. 4. 411-414.
- TOLLENAAR, M.: 1991. Physiological basis of genetic improvement of maize hybrids in Ontario from 1959 to 1988. Crop Science. 31. 119-124.
- TÓTH, A.: 1964. Hozzászólás „A talaj mélyművelése” vitaülésen. MTA Agrártud. Oszt. Közl. 23. 3-4. 408-409.
- VAJDAI, I.: 1991. A forgatás nélküli talajművelés hatása a talajnedvesség alakulására. Növénytermelés. 40. 67-74.

- VOLDENG, H. D. – BLACKMAN, G. E.: 1974. Interaction between genotype and density on the yield components of *Zea mays* L. Production of dry matter by shoot. *Journal of Agricultural Science*. 83. 189-195.
- VYN, T. J. – RAIMBAULT, B. A.: 1993. Long-term effect of five tillage systems on corn response and soil structure. *Agronomy Journal*. 85. 1074-1079.
- WAN WIJK, W.R. – LARSON, W. E. – BURROWS, W. C.: 1959. Soil temperature and the early growth of corn from mulched and unmulched soil. *Soil Science Society. Agronomy Journal*. 23. 428-434.
- WANG, J. – ERDA, L.: 1996. The impacts of potential climate change and climate variability on simulated maize production in China. Special Issue: Climate change vulnerability and adaptation in Asia And the Pacific. Workshop held in Manila. Philippines. 15-19 January 1996.
- WATSON, D. J.: 1956. Leaf growth in relation to yield. In: Milthorpe F.L.(ed). *The growth of leaves*. Butterworths. London.
- WILLIAMS, W. A. – LOOMIS, R. S. – DUNCAN, W. G. – DOVERT, A. – NUNEZ, F.: 1968. Canopy architecture at various population densities and the growth and grain of corn. *Crop Science*. 8. 303-308.
- WIT, C. T. de: 1970. Dynamic concepts in biology. In: Setlik, I. *Prediction and measurement of photosynthetic productivity*. Wageningen. 17-23.
- WU, Y. – SAKAMOTO, C. M. – BOTNER, D. M.: 1989. On the application of the Ceres-Maize model to the North China Plain. *Agricultural and Forest Meteorology*. 49. 1. 9-22.
- XEVI, E. – GILLEY, J. – FEYEN, J.: 1996. Comparative study of two crop yield simulation models. *Agricultural Water Management*. 30. 2. 155-173.