

SZENT ISTVÁN EGYETEM

**MARTONVÁSÁRI BÚZA GENOTÍPUSOK
NÖVEKEDÉSDINAMIKÁJÁNAK ÉS
TERMÉSPRODUKCIÓJÁNAK VIZSGÁLATA
KÜLÖNBÖZŐ N-TÁPELEM SZINTEKEN**

Doktori (PhD) Értekezés

Készítette:

Sugár Eszter

Gödöllő

2014

A doktori iskola

Megnevezése: Növénytudományi Doktori Iskola

Tudományága: Növénytermesztési és Kertészeti Tudományok

Vezetője: **Dr. Helyes Lajos**
intézetigazgató, egyetemi tanár, az MTA doktora
SZIE Mezőgazdasági- és Környezettudományi Kar
Kertészeti Technológiai Intézet, Gödöllő

Témavezetők: **Dr. Berzsenyi Zoltán**
professor emeritus, az MTA doktora
MTA ATK Mezőgazdasági Intézet, Martonvásár

Dr. Jolánkai Márton
professor emeritus, az MTA doktora
SZIE Mezőgazdasági- és Környezettudományi Kar
Növénytermesztési Intézet, Gödöllő

.....
Dr. Berzsenyi Zoltán
témavezető jóváhagyása

.....
Dr. Jolánkai Márton
témavezető jóváhagyása

.....
Dr. Helyes Lajos
iskolavezető jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS	1
2. CÉLKITŰZÉSEK	3
3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	5
3.1. Szabadföldi tartamkísérletek.....	5
3.2. Az őszi búza szárazanyag felhalmozódása és termésképződése.....	7
3.2.1. A különböző terméskomponensek szerepe a termésképződés folyamatában.....	9
3.2.2. A zászlós levél szerepe a termésképződésben	10
3.2.3. A N-műtrágyázás hatása a búza termésképződésére.....	10
3.2.4. A genotípus szerepe a termésképződésben	12
3.2.5. A különböző évjáratok hatása a termésképződésre.....	13
3.3. Az őszi búza nitrogén műtrágyázása.....	14
3.3.1. A N-műtrágyázás hatása az őszi búza termésére	15
3.3.2. A N-műtrágyázás hatása az őszi búza minőségére	18
3.4. Növekedésanalízis.....	20
3.4.1. A növekedésanalízis módszerei	24
3.4.1.1. A növekedésanalízis klasszikus módszere.....	24
3.4.1.2. A növekedésanalízis funkcionális módszere.....	24
3.4.2. A növekedési mutatók típusai	26
3.4.3. A növekedésanalízis alkalmazása a növénytermesztésben	27
4. ANYAG ÉS MÓDSZER	29
4.1. A kísérlet jellemzése	29
4.1.1. A kísérleti kezelések és a kísérlet elrendezése.....	29
4.1.2. A kísérlet talajviszonyai.....	30
4.1.3. A három vizsgált év időjárásának jellemzése	30
4.1.4. A kísérletben szereplő búzafajták jellemzése	31
4.2. A kísérletben végzett kutatómunka bemutatása.....	32
4.2.1. Mintavételek és az ökofiziológiai mérések előkészítése.....	32
4.2.2. Ökofiziológiai vizsgálatok	33
4.3. A növekedési mutatók és kiszámításuk	35
4.4. A növekedésanalízis módszereinek alkalmazása.....	40
4.5. A kísérleti adatok biometriai értékelése.....	40

4.6. Korrelációs és összefüggés vizsgálatok	41
4.6.1. Korrelációs vizsgálatok.....	41
4.6.2. Regresszióanalízis.....	41
5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK	45
5.1. A N-műtrágyázás és az évjárat hatása az őszi búzafajták növekedési jellemzőinek dinamikájára.....	45
5.1.1. A növényenkénti összes szárazanyag-produkció dinamikája	45
5.1.2. A növényi részek szárazanyag-produkciójának dinamikája	47
5.1.3. A növényenkénti levélterület növekedési dinamikája	50
5.1.4. A N-műtrágyázás hatása az őszi búzafajták zászlóslevél-területére, klorofill tartalmára és növénymagasságára	52
5.2. A N-műtrágyázás hatása az őszi búzafajták szemtermésére, terméskomponenseire és beltartalmi tulajdonságaira	55
5.2.1. A N-műtrágyázás hatása az őszi búzafajták szemtermésére	55
5.2.2. A N-műtrágyázás hatása a terméskomponensek (négyzetméterenkénti kalászsám, kalásonkénti szemszám és ezerszemtömeg) alakulására.....	56
5.2.3. A N-műtrágyázás hatása az őszi búzafajták beltartalmi tulajdonságaira.....	58
5.2.3.1. A szemtermés fehérjetartalma.....	58
5.2.3.2. A szemtermés sikértartalma	59
5.3. A N-műtrágyázás hatása a búzafajták növényegyed növekedési mutatóira	59
5.3.1. Az összes szárazanyag abszolút növekedési sebessége (AGR)	59
5.3.2. A levélterület abszolút növekedési sebessége (ALGR)	62
5.3.3. Az összes szárazanyag relatív növekedési sebessége (RGR)	65
5.3.4. A nettó asszimilációs ráta (NAR)	68
5.3.5. A levélterület arány (LAR)	70
5.3.6. A levéltömeg arány (LWR) és a specifikus levélterület (SLA).....	72
5.4. A N-műtrágyázás hatása az őszi búzafajták növényállomány növekedési mutatóira.....	74
5.4.1. A levélterület index dinamikája (LAI).....	74
5.4.2. A termésnövekedés sebessége (CGR).....	77
5.4.3. A levélterület tartóssága (LAD).....	79
5.4.4. A biomassa tartóssága (BMD)	81
5.4.5. A harvest index (HI)	82
5.5. Korrelációs és összefüggés vizsgálatok	82

5.5.1. Korrelációs vizsgálatok.....	82
5.5.2. Regresszióanalízis.....	86
5.5.2.1. Kétfváltozós regresszióanalízis.....	86
5.5.2.2. Többszörös regresszióanalízis.....	91
5.6. Az eredmények összefoglalása, új tudományos eredmények.....	95
5.6.1. Az eredmények összefoglalása.....	95
5.6.2. Új tudományos eredmények.....	105
6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK.....	107
7. ÖSSZEFOGLALÁS / SUMMARY.....	109
8. MELLÉKLETEK.....	113
M1. Irodalomjegyzék.....	113
M2. A növekedési mutatók és számításuk.....	128
M3. Korszerű klasszikus növekedésanalízis program – példa (Hunt et al., 2002).....	129
M4. Funkcionális növekedésanalízis program – példa (Hunt és Parsons, 1974).....	130
M5. Képek.....	131
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	133

RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

AGR = abszolút növekedési sebesség (g növény⁻¹ nap⁻¹)

ALGR = a levélterület abszolút növekedési sebessége (cm² növény⁻¹ nap⁻¹)

b-érték = a regressziós koefficiens értéke

β = standardizált regressziós koefficiens

BMD = biomassa tartósság (g nap)

CGR = termésnövekedés sebessége (g m² nap⁻¹)

HI = harvest index (%)

LAD = levélterület tartósság (nap, m² nap)

LAI = levélterület index (dimenzió nélkül)

LAR, F = levélterület arány (mm² g⁻¹, cm² g⁻¹ vagy m² g⁻¹)

LWR = levéltömeg arány (dimenzió nélkül)

NAR, E = nettó asszimilációs ráta (g m⁻² nap⁻¹)

R² = többszörös determinációs koefficiens

RGR, R = relatív növekedési sebesség (g g⁻¹ nap⁻¹)

SE = standard hiba (szórás)

SLA = specifikus levélterület (cm² g⁻¹)

SPAD-érték = a relatív klorofilltartalom indexe (0,0-99,9)

SzD_{5%} = szignifikáns differencia 5%-os szinten

Rövidítések jegyzéke

1. BEVEZETÉS

A természeti erőforrások egyre kisebb mértékben állnak rendelkezésre, ezért napjaink egyik legsürgetőbb feladata a fenntartható fejlődés megvalósítása. Ebben igen nagy szerepet kap a mezőgazdaság, amely köztudottan az egyik legnagyobb használója természeti környezetünknek. A világ népességének növekedésével a gabonaszükséglet nő, miközben az éghajlat változik, és az időjárás évről-évre egyre bizonytalanabbá válik. Az időjárás bizonytalanságából eredő veszteségek csökkentése érdekében nagy jelentősége van a megfelelő, jól alkalmazkodó fajta kiválasztásának, és a tápanyagellátás optimalizálásának.

Az őszi búza növekedéséhez szükséges elegendő tápanyagmennyiséget elsősorban műtrágyázással biztosítjuk. A makroelemek közül kiemelkedő szerepe van a búza fejlődéséhez igazított, megfelelő mennyiségű N-műtrágyázásnak. Martonvásári kísérletek igazolják, hogy a kielégítő N-ellátottság csökkenti az eltérő évjáratok okozta termésingadozásokat. A kis N-műtrágya adagok alapvetően a búza mennyiségére, a 100 kg ha⁻¹-nél nagyobb N-dózisok már a minőségi tulajdonságokra is pozitív hatással vannak (Árendás et al., 2001). A túlzott N-műtrágyázás azonban ugyancsak kedvezőtlen a búza számára.

Az Európai Unió országaiban egyre inkább előtérbe kerül a túlzott mértékű N-műtrágyázás okozta felszínközeli vizek elszennyeződésének problémája, ezért korlátozásokat vezettek be a N-műtrágya felhasználásában. A jövőbeni nemesítési programok célja várhatóan olyan fajták előállítására lesz, melyek jobban tudnak alkalmazkodni az ún. „low-input” agrotechnikához. Számptalan kutatás folyik a klímaváltozással és annak előrelátható hatásaival kapcsolatban. A hazánkra jellemző bizonytalan, változékony időjárás miatt a természetben igen nagy jelentősége van az évjáráthatásnak.

Adott ökológiai feltételek között csak megfelelő fajtaválasztással lehet jó termésszintet elérni. Olyan fajtát szükséges választani, mely jobban tud alkalmazkodni az adott klimatikus feltételekhez, jobban ellenáll a különféle kórokozónak, jó a gyomelnyomó képessége, jól tolerálja adott esetben a vízhiányt, kellőképpen meg tud erősödni a téli fagyokig, illetve virágzáskor elkerüli a hőségnapokat. Bizonyos fajták alacsonyabb N-ellátás mellett is viszonylag nagyobb termésbiztonsággal termeszthetők.

Ahhoz, hogy az egyes búza genotípusok tápanyag-reakcióját különböző évjáratokban minél alaposabban megismerjük, szükséges, hogy azok hatását ne csak a termésben, hanem a fenológiai fejlődés során végig nyomon kövessük. A növekedésanalízis alkalmazásával lehetőség nyílik arra, hogy a fotoszintetikus produkció dinamikáját a növény növekedésének és

fejlődésének teljes időszakában vizsgáljuk. A növekedésanalízis segítségével a növény szárazanyag termeléséből kiindulva értelmezhetjük a növény növekedését, és választ kaphatunk arra, hogy a különböző agronómiai és ökológiai tényezők hogyan hatnak a búza növekedésére és növekedési dinamikájára. Növekedésanalízissel különböző fajták növekedési dinamikája is összehasonlítható. A növekedésanalízis különösen alkalmas módszer a különböző növénytermesztési (pl. trágyázási, vetésforgó, polifaktoriális) tartamkísérletekben a kísérleti kezelések tartamhatásának kvantifikálására, a tényezők independens és interaktív hatásának tanulmányozására és az interakciók okainak feltárására (Berzsenyi, 2006b).

A hároméves kísérleti munkában (2006/07, 2007/08, 2008/09) az MTA Mezőgazdasági Kutatóintézetének az 1980-ban módosított, eredetileg Koltay vetésforgó tartamkísérletében három különböző érésidőjű búza genotípus N-tápanyag-reakcióját vizsgáltuk növekedési dinamikájuk és termésprodukciónak meghatározásával, a növekedés teljes időszakában. A növekedésanalízis vizsgálatok kiterjedtek a növényi szervekre, a növényegyedre és a növényállományra egyaránt. A növekedésanalízis különböző módszereivel vizsgáltuk a kísérleti tényezők hatását a búza növekedésére és a növekedési mutatók dinamikájára.

2. CÉLKITŰZÉSEK

Az értekezés célja a martonvásári vetésforgó tartamkísérletben:

1. a különböző őszi búza genotípusok szárazanyagprodukción- és levélterület dinamikájának összehasonlítása eltérő N-kezelésekben, három egymást követő évjáratban;
2. a növekedésanalízis klasszikus és funkcionális módszerével az eltérő N-kezelések hatásának tanulmányozása a búzafajták növekedési mutatóinak dinamikájára, illetve átlag- és maximális értékére, különböző évjáratokban;
3. a N-műtrágyázás hatásának vizsgálata a termés, az egyes terméskomponensek, a zászlóslevél terület és a minőségi paraméterek alakulására, különböző búzafajtáknál;
4. annak vizsgálata, hogy a növekedési dinamikák, a növekedési mutatók, a terméskomponensek és a minőségi paraméterek milyen összefüggésben állnak a termésmennyiség alakulásával;
5. megfelelő genotípus kiválasztása a várható évjáratnak megfelelően, illetve a biztonságosabb (stabilabb) termés eléréséhez szükséges optimális N-dózis meghatározása
6. a kapott összefüggések birtokában a növekedési dinamikák és paraméterek felhasználása a genotípusok termésreakcióinak jellemzésére.

3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A búzatermesztés sikerességét elsődlegesen genetikai, agrotechnikai és környezeti tényezők határozzák meg, ezért ezek vizsgálata elengedhetetlen. Magyarország a Föld azon kevés búzatermesztő régiójához tartozik, ahol az ország jelentős részén potenciálisan mind a nagy termés, mind a jó malom- és sütőipari minőség előállítható (Bedő et al. 2001). A termesztett növények agronómiai reakcióinak, a genotípus, a termesztéstechnológia és a környezeti tényezők közötti kölcsönhatásoknak hosszú időtartamú tanulmányozását szabadföldi tartamkísérletek teszik lehetővé. A tartamkísérletek lényeges információt nyújtanak ahhoz, hogy a fenntartható mezőgazdasági termeléshez a talajtermékenységet befolyásoló tényezőket biztonságosan meghatározzuk (Kismányoky, 2009).

3.1. Szabadföldi tartamkísérletek

A növénytermesztési kutatásokban kiemelkedő jelentőségük van a tartamkísérleteknek, melyekben a kezelések hatása évről évre változatlan agronómiai körülmények között elemezhető. A tartamkísérletek legfontosabb vonása az, hogy a kezeléseket változatlan parcellákon, egymást követő években folyamatosan megismétlik. Tartamkísérletekben mérhető a kezelések halmozott (kumulatív) hatása a termésre, a talaj tápelem-feltöltődésére vagy kimerülésére, és a talaj egyéb tulajdonságaira (Debreczeni és Debreczeniné, 1994). A növénytermesztés kérdéseinek eldöntésére leginkább az egzakt tartamkísérletek alkalmasak. A talaj termékenységének változását, az ezt befolyásoló tényezők szerepét csak több évtizeden át végzett tartamkísérletekben lehet tanulmányozni, ezért nélkülözhetetlenek a termesztési eljárások és technológiák tartamhatásának tanulmányozásában (Berzsenyi, 2009). A termesztés fenntarthatóságáról kizárólag tartamkísérletek adnak megfelelő indikátorokat (Berzsenyi és Árendás, 2009). Jolánkai et al. (2009) szerint a tartamkísérletek lényegében egyszerre élő laboratóriumok és közgyűjtemények.

A szabadföldi tartamkísérletekről a nemzetközi irodalomban Leigh és Johnston (1994) a Rothamsted-i Kísérleti Állomás 150 éves évfordulója alkalmából tartott konferencia kiadványában ad összefoglalást. A hazai irodalomban Debreczeni és Debreczeniné (1994), valamint Debreczeniné és Németh (2009) foglalja össze a tartamkísérletek, elsősorban az OMTK tartamkísérletek eredményeit.

Nemzetközi tartamkísérletek

Az első tartamkísérleteket J.B Lawes és J.H. Gilbert alapította az angliai Rothamstedben 1843-ban. Az 1843-1856 között beállított 9 tartamkísérletből 8 még ma is változatlanul fennmaradt „Rothamsted Classical Experiments” elnevezéssel. A még ma is fenntartott, 1843-ban beállított kísérletek egyike a Hertfordshire-ben található őszi búza trágyázásos tartamkísérlet. Németországban az első mezőgazdasági kísérleti állomás 1851-ben jött létre Lipcse közelében, melyet további 20 kísérleti állomás megalakulása követett az elkövetkező 15 évben. A kísérletek eredményeit a szakemberek rendszeresen megvitatták és az 1858-ban megalapított „Die landwirtschaftliche Versuchsstationen” folyóiratban közzétették. Ismert még az 1878 óta fenntartott “örök rozs” (Ewiger Roggenbau) kísérlet Halléban. Az Egyesült Államokban 4 klasszikus tartamkísérlet ismert: a Morrow Plots (1876), a Sanborn Field (1888), a Magruder Plots (1892) és az Old Rotation (1896). Oroszországban 1867-1869 között szabadföldi kísérletekben vizsgálták az akkoriban használt műtrágyák, a talaj és a termés kapcsolatrendszerét és az eredményeket már statisztikailag is alátámasztották.

Tíz évnél régebbi tartamkísérletekből 15 Afrikában, 12 Ausztráliában, 56 Észak-Amerikában, 17 Dél-Amerikában, 48 Ázsiában található (Barnett et al., 1995). A tartamkísérletek száma Európában és a volt Szovjetúnióban meghaladja a százat.

Hazai tartamkísérletek

A növénytaplálásban elért eredményeket és a hazai trágyázási kísérletek tapasztalatait a 19. század végén Cserhádi és Kosutány (1887) „A trágyázás alapelvei”, Cserhádi (1900) „Általános és különleges növénytermelés” és Cserhádi (1907) „A műtrágyák okszerű alkalmazása” című könyvében foglalta össze. Ekkor még nem állt rendelkezésre az az ismeretanyag a talajról és a növényről, amely lehetővé tette volna a talajvizsgálati és a termésadatok közötti érdemleges összefüggések feltárását. Az ismétléses kisparcellás kísérleti módszer ugyanis csak a 20. század elején vált általánosan elfogadottá (Debreczeni és Debreczeniné, 1994). Cserhádi a szabadföldi kísérletek alatt nem a mai értelemben vett ismétléses kisparcellás trágyázási kísérleteket értette, hanem a minimum 0,3 ha területű üzemi parcellákat, ahol már „azonos feltételeket lehet biztosítani” a talaj, a vetőmag minősége, a vetés sűrűsége stb. tekintetében. Az ő nevéhez fűződik a nagyüzemi kísérletek hálózatának beindítása. Holdas parcellákon állított be talajművelési, trágyázási fajtakísérleteket búzával, árpával és más növényekkel. Várallyay (1954) a harmincas évek végétől mintegy 125 kísérletet indított az ország eltérő részein, különböző talajtípusokon, melyek már kisparcellás, ismétléses és

statisztikailag értékelhető tápanyaghiány kísérletek voltak. Sarkadi (1952) rámutatott a kiscellás kísérletekből adódó eredmények széleskörű üzemi kísérletekkel való ellenőrzésének szükségességére. A szakszerű, ugyanakkor gazdaságos műtrágyázás meghatározása céljából Láng Géza az 1950-es évek végétől elindította az országos trágyázási kísérleteket. A különböző adagú és arányú NPK-műtrágyák hatásának vizsgálatára 1966-ban kezdődtek meg hazánkban az ún. egységes Országos Műtrágyázási Tartamkísérletek (OMTK). Az OMTK hálózati kísérletek, hazánk hét természetföldrajzi középtáján belül, egy kivétellel, mindegyikben megtalálhatók. Az eredetileg 26 termőhelyen azonos módszerrel indított kísérletsorozat tervét az akkori Földművelésügyi Minisztérium által megbízott szakmai csoport dolgozta ki Láng Géza akadémikus vezetésével (Kismányoky és Debreczeniné, 2009). A szakmai csoport tagjai Bocz Ernő, Debreczeni Béla, Sarkadi János, Sváb János és Wellisch Péter voltak. Az 1966/67-ben beállított egységes OMTK-en kívül Magyarországon még több trágyázási tartamkísérlet van. Ilyenek a Martonvásáron Győrffy Béla és Sarkadi János által 1956-ban indított, Kompolton Pekáry Károly által 1961-ben elkezdett, Keszthelyen és Szentgyörgyön Láng Géza és Nyéki Jenő által 1965-ben kezdett szerves- és műtrágyázási, meszezési és műtrágyázási kísérletek. A debreceni Látóképen 1984-ben többletényező, öntözéses szántóföldi tartamkísérletet, míg Gödöllőn 1994-ben kéttényező, kiscellás talajművelési tartamkísérletet állítottak be. A Győrffy Béla által Martonvásáron beállított tartamkísérletek ma már több, mint 50 évesek és a nemzeti vagyon részének tekintendők (Berzsenyi és Árendás, 2009).

3.2. Az őszi búza szárazanyag felhalmozódása és termésképződése

A búza fejlődésének nyomon követésére különféle skálákat és kódokat hoztak létre. Ezek közül széles körben alkalmazzák az ún. Haun skálát (Haun, 1973), mely különösen alkalmas a vegetatív növekedési szakaszok leírására. A Feekes skála (Large, 1954) és a Zadok -féle fenológiai kódrendszer (Zadoks et al., 1974) jól jellemzi mind a vegetatív, mind pedig a reprodukív fejlődési stádiumokat.

A termés képződésének fiziológiai oldalát minél részletesebben megismerve lehetővé válik, hogy adott esetben a termés, illetve a termés összetevői irányíthatókká váljanak. A fiziológiai ismeretek elengedhetetlenek ahhoz, hogy a fajták terméspotenciálját minél jobban ki tudjuk használni, miközben az alkalmazott műtrágyák és egyéb kemikáliák felhasználását racionalizálni tudjuk. Számos irodalom foglalkozik a terméssel összefüggésben álló ökológiai és növényélettani paraméterekkel. A búzanövény terméskialakulásának fiziológiai hátteréről

részletes ismertetést nyújt Petr et al. (1985) „A főbb szántóföldi növények termésképződése” című könyve, melyben cseh és szlovák kutatóintézetek eredményeiről számol be. Ugyancsak a termésképzés folyamatát foglalja össze Geisler (1983) „Ertragsphysiologie von Kulturarten des gemässigten Klimas” című tanulmánya.

A termésképződés alapreakcióit meghatározó tényezők az asszimilációs szervek nagysága és aktív működésük hossza, az asszimilációs szervek teljesítménye, vagyis a fotoszintézis sebessége, az asszimiláták szállítási sebessége és a szervek közti megoszlása, valamint a szemek száma, nagysága és aktivitásuk az asszimiláták felhalmozódásában (Petr et al., 1985).

A búza száraanyag-felhalmozódásának és termésképződésének alapja a fotoszintetikusan aktív sugárzás elnyelése. Az abszorpció döntő hányada a levéllemezeken megy végbe, ezért különösen nagy szerepe van az egységnyi termőterületre eső levélborítottságnak (LAI), illetve a levélterület időbeni fennmaradását is magában foglaló levélterület tartósságnak (LAD). A fény abszorbeálásának mértékét nagyban befolyásolja a levelek térállása is. Számos irodalmi adat bizonyítja, hogy a levélterület mérete szoros összefüggésben áll a termésmennyiséggel (Focke, 1972; Mac-Key, 1984). Lönhardné és Kismányoki (1992) szignifikáns összefüggést mutatott ki a kalásztermés és a LAI, a kalásztermés és a LAD, valamint a kalásztermés és a zászlóslevélterület között. Balogh et al. (2007) N-műtrágyázásos őszi búza kísérletben szintén erős szignifikáns összefüggést talált a LAI és a termés között. Míg a levélzet fejlődése során minden egyes levélkezdeményből kifejlett levél képződik, addig a szemek száma betakarításkor kevésbé függ a hajtás-, kalászká- és virágkezdemények számától, mint inkább attól, hogy ezen növényi szervek milyen arányban fejlődnek ki teljesen (Brisson és Delécolle, 1991). Még a legkedvezőbb feltételek mellett is a hajtás- és a virágkezdeményeknek több, mint a fele, a kalászkáknak pedig a 10-20%-a elpusztul, mielőtt teljesen kifejlődne (Fischer, 1983). Mindez igencsak megnehezíti a termésbecsléseket.

A búza a vegetatív fejlődésből bokrosodás ideje alatt, szárbaindulás előtt tér át fokozatosan a generatív fejlődésre. Ekkor a hajtástengely apikális végén a levélkezdemények mellett kalászká kezdemények kezdenek fejlődni. Ezt az átmeneti stádiumot nevezzük „double ridge”-nek (Geisler, 1983), amely a differenciálódás kezdetét jelenti.

A száraz szemtömeg mintegy 70-90%-a a szemtelítődés során képződő asszimilátákból származik (Austin et al., 1977). A szemtelítődés alatt végbemenő domináns folyamat a nitrogén remobilizációja az elszáradó vegetatív szövetekből a reprodukív szervek felé. A száradás az

alacsonyabban elhelyezkedő leveleken kezdődik, majd a zászlós levél szárad el utoljára. A száradás a levelek csúcsa felől halad a levélhüvely irányába (Borghini, 1999).

3.2.1. A különböző terméskomponensek szerepe a termésképződés folyamatában

A termésképződési folyamat három szakaszra osztható fel: (1) szervek képzése a tápanyag-abszorpcióra és a fotoszintézisre, (2) a virágszervek és a szemszám kialakulása, (3) szemtelítődés és fiziológiai érés (Berzsenyi, 2004).

A termés kifejezhető a három hagyományos komponens által, melyek a következők: az egységnyi területre jutó kalászsorszám, a kalásonkénti szemek száma és az átlagos szemtömeg. Ha egy korán kialakuló terméskomponens (pl. egységnyi területre jutó hajtások száma) valamely környezeti stressz hatására lecsökken, ezt a búza később kialakuló terméskomponensekkel (nagyobb kalásonkénti szemszámmal vagy nagyobb szemtömeggel, illetve egyidejűleg mindkettővel) kompenzálni tudja (Klepper et al., 1998). Frederick és Camberato (1995) ellentétes összefüggést talált a négyzetméterenkénti szemszám és a szemtömeg között.

A szemszám a termést meghatározó elsődleges terméskomponens. A környezet által indukált variáció a területegységre eső szemszámban egy fajtán belül rendszerint szoros összefüggést mutat a terméssel. A mag tömegének környezet által indukált variációja azonban nem mindig van összefüggésben a terméssel (Berzsenyi, 2004). Gales (1983) szerint a szemtömeg viszonylag állandó fajtajelleg, ezért a termést elsősorban az egységnyi területre jutó szemek száma határozza meg. Briggs (1991) tanulmányában arról ír, hogy a kisebb szemtömeg hátterében az oldalhajtások nagyobb aránya állhat.

A régi és modern kenyérbúza fajták közötti termésnövekedés elsősorban a kalásonkénti szemszám, és a kalászsorszám kismértékű növekedésével a négyzetméterenkénti szemszám növekedéséből adódik (Slafer et al., 1993). Sayre et al. (1997) arról számolt be, hogy a terméspotenciál növekedése az elmúlt 30 évben lényegében a harvest index, valamint a területegységre jutó szemszám növekedéséből adódott és kevésbé a szemtömeg növekedéséből. A terméskülönbségeket Petr et al. (1985) szintén a területegységre eső szemszámkülönbségekkel magyarázza.

Frederik és Bauer (1999) tanulmányában beszámolt a levélterület index és a négyzetméterenkénti szemszám között tapasztalt lineáris összefüggésről. Stockman et al. (1983) dolgozata alapján a LAI és a szemszám közötti összefüggés mindaddig fennáll, míg a búzalevelek el nem kezdik egymást leárnyékolni, ami a virágfejlődés idején a virágok és a kalászkákban lévő szemek számának csökkenését eredményezi. A potenciális szemtömeg

többnyire genotípustól függ, de bizonyos mértékben a virágzást követő tápanyagellátás befolyásolja (Avecedo et al., 2002). A négyzetméterenkénti szemszámmal ellentétben a szemtömeg kevésbé befolyásolja a szemtermést. Ha a szemtelítődés idején a levelek árnyékolják egymást, bár a szemtömeg csökken, a termésben ez csak kismértékű veszteséget okoz (Slafer et al., 1993).

3.2.2. A zászlós levél szerepe a termésképződésben

A búza összes levele közül a zászlóslevél marad leghosszabb ideig metabolikusan aktív, ezért a tápanyagok ebből tudnak legtovább a kalász felé áramlani. A zászlóslevél fotoszintézise tehát kiemelkedő fontosságú, hiszen biztosítja a C-vázis vegyületeket a szemek számára, amikor az alsóbb levelek metabolikus folyamatai már nem aktívak (Forgóné, 2009). N-műtrágyázással fokozható a zászlós levél fotoszintetikus aktivitása, mely a fejlődő kalász felé irányuló transzlokáció miatt N-hiányos állapotba kerülhet (Hay és Walker, 1989). Normál feltételek mellett a szemekbe áramló asszimiláták mintegy fele a zászlós levélből származik (Rawson et al., 1983). A szemtömeg növekedésének sebességét és hosszát a zászlós levél asszimilációjának sebessége és időtartama nagymértékben befolyásolja (Frederik és Bauer, 1999).

3.2.3. A N-műtrágyázás hatása a búza termésképződésére

Az őszi búza nitrogén felvétele a levélben a szárba szökés végén, a szárban a kalászosítás fenofázisában, a kalászban pedig a tejes érés végére érte el maximumát (Lásztity, 1989). Karlen és Sadler (1990) szerint a búza a létfontosságú tápanyagok legnagyobb részét szárbainduláskor veszi fel. Hasonlóképpen ír Oscarson et al. (1995) dolgozatában, miszerint a növények a föld feletti nitrogén 70-90%-át virágzás előtt tárolják el. A tápanyaghiány ebben a fejlődési szakaszban mind a vegetatív fejlődést, mind pedig a kalászképződést gátolja (Frederik és Bauer, 1999). A talajból való N-felvétel Petr (1985) szerint egészen a tejes érésig fokozódik, ezt követően már csak a többi vegetatív szervből való transzport az uralkodó. Ez utóbbi során a szemben az össznitrogén mintegy 60%-a halmozódik fel.

A búza nitrogénfelvétele már ősze, majd a jarovizációs stádiumban is jelentős, a fénystádiumban tovább növekszik és a generatív szervek kialakulásakor éri el maximumát (Koltay és Balla, 1982). A nitrogén döntő befolyással van a generatív szervek kialakulására, hiszen a kalászképződés differenciálódása a vegetatív szakaszban a felvett nitrogén függvénye (Árendás et al., 2001). Dévay (1961) alapján a belső nitrogéntartalom és a kalászkaszám közötti összefüggés maximumgörbe jellegű, azaz mind a túl alacsony, mind a magas szintek gátolják a

folyamatot. A trágyázás kalászkezdeménnyre gyakorolt hatása Pepó és Pepó (1988) szerint is jelentős, mely hatást az évjárat kisebb-nagyobb mértékben módosíthat. A búza téli, illetve tél végi nitrogén fejtrágyázásának előnye, hogy a korán, sokszor már február végén megkezdődő kalászkezdemény kialakulásának idejére a tápanyag bőségesen rendelkezésre áll, aminek eredménye a nagyobb kalász, azon több kalászka és bennük több szem (Rajki, 1962). A növény azonban csak akkor tudja felvenni a talaj nitrogénjét, ha annak hőmérséklete 12 °C fölé emelkedik, és a nitrogént feltáró mikroorganizmusok megkezdik működésüket (Rajki, 1960).

A termésképződést alapvetően meghatározza a levélfelület nagysága, melyet az egyes tápanyagok különbözőképpen befolyásolnak. Ezek közül a N-nek meghatározó szerepe van (Lönhardné és Kismányoki, 1992). Lönhardné és Német (1988) arról számol be, hogy a N-dózisok emelésével együtt nőtt a főhajtás levélfelülete, több lett a mellékajtások száma. A legnagyobb levélfelületet a 348 kg/ha N-dózisnál mérték. Az N-dózisok emelkedésének sorrendjében nőtt a zászlóslevél nagysága. A kontrollhoz viszonyítva a legnagyobb (348 kg ha⁻¹) N-adag hatására fokozatosan háromszorosára nőtt az asszimiláta képzésben legfontosabb levél nagysága. Santosh (2011) megállapította, hogy a N-ellátás sejtszám növekedéssel növeli a zászlós levél területét és kedvez a virágkezdemények kialakulásának. A nitrogén-hiányos növények szenescenciája korábban megy végbe, mint azoké, melyek elegendő N-ellátásban részesülnek (Evans, 1983). Szlovéniában végzett többletanyag-kísérletben a nitrogénkezelés, valamint a fajta x nitrogénkezelés interakció szignifikáns hatással volt a LAI-ra, a növényi szárazanyag-produkcióra és a termésre. A növényi szárazanyag-produkció és a termés között erős korrelációt ($r=0,86^{**}$) figyeltek meg (Bavec et al., 2002).

Az optimális N-dózis megállapításánál figyelembe kell venni az egyes növényi részek eltérő N-reakcióját. Borghi (1999) a szemtermés és az összes biomasz N-reakciójában három lényeges különbséget állapított meg: a szemtermés N-reakciójában a lineáris növekedés rövidebb ideig tart, alacsonyabb N-dózisnál éri el maximális értékét, és a szemtermés közvetlenül ezután csökkenni kezd. A szemtermés és a biomasz eltérő N-reakcióját jól mutatja a harvest index, melynek értéke a magasabb N-kezelésekben csökken. A búza N-reakcióját a terméskomponensek közül a négyzetméterenkénti szemszám fejezi ki legjobban (Meynard, 1987).

Olaszországban végzett kísérleti munka alapján a búza termését, harvest index értékét, ezerszemtömegét és a m²-enkénti kalászszaámot szignifikáns mértékben befolyásolta az évjárat, a N-műtrágyázás, valamint ezek interakciója. A szemtermés, a m²-enkénti kalászszaám és a növénymagasság a 210 kg ha⁻¹ N-kezelésben volt a legnagyobb, míg a harvest index és az

ezerszemtömeg ugyanebben a kezelésben mutatta a legalacsonyabb értéket. A szárazanyag produkció az emelkedő N-dózisokkal nőtt (Delogu et al., 1998).

Martonvásáron kumulatív terméselemzések alapján a trágyázás hatása leginkább a területegységre jutó kalászszaám változásában volt kimutatható (Árendás et al., 2001). Ruzsányi (1985) vizsgálatai szerint a műtrágyázás elsősorban a területegységenkénti kalászszaám és a kalásonkénti szemszaám pozitív változása révén fejt ki termésnövelő hatását. Martonvásári kísérletben (Koltay, 1971) a műtrágyázás okozta szemterméstöbblet döntő hányadát a kalásonkénti szemtöbblet eredményezte. Az ezerszemtsúlyt a fajták örökletessége, valamint az évjárat határozta meg, azon a nitrogéntrágyázás érdemlegesen nem változtatott. Harmati és Szemes (1985) tanulmányában a N-fejtrágyázás okozta terméstöbbletek nem annyira a kalászok számaának, hanem inkább a tömegének növekedéséből adódtak.

3.2.4. A genotípus szerepe a termésképződésben

A termés mennyiségi és minőségi paramétereit alapvetően meghatározzák a termesztett fajták biológiai-genetikai tulajdonságai és a talaj tápanyagszolgáltató képessége (Árendás et al., 2006). Szentpétery et al. (1995) szerint a mennyiségi és minőségi potenciál a fajta olyan genetikailag meghatározott képessége, melyet a környezeti tényezők és az agronómiai módszerek érvényre juttathatnak, leronthatnak, de számottevően javítani nem tudnak. A genetikai termőképesség realizálásában résztvevő legerősebb tényező a műtrágyázás (Jolánkai, 1993).

A terméskülönbségek háttérében általában nem az összes szárazanyag produkció, hanem a szárazanyag képződésének és eloszlásának eltérő dinamikája áll. Az új fajták termésnövekedését gyakran a szárazanyag-megoszlás változása okozza, azaz az összes szárazanyagtermés nagyobb hányada esik a gazdasági termésre (Petr et al., 1985). Karimi és Siddique (1991) alapján a modern búzafajtákat a vegetatív fázisban nagyobb RGR és alacsonyabb kezdeti LAI jellemezte, majd ezek a fajták virágzáskor nagyobb CGR értéket, valamint betakarításkor nagyobb termést értek el. A differenciálódás kezdetén a kezdemények megoszlása a vegetatív és reprodukív szervek között genetikai és környezeti tényezőktől függ (Hay, 1999). Láng (1966) szerint a kalázkákban lévő szemszaám egyrészt öröklődő fajtatulajdonság, másrészt a környezeti hatások is befolyásolják. A száraz szemtömeg növekedési rátája Hunt et al. (1991) alapján feltehetően genetikailag meghatározott tulajdonság. A terméskomponensek közül az ezerszemtömeg nem követi a termésnövekedés trendjét – az

agrotechnikai tényezők csak kismértékben befolyásolják – meghatározó szerepe a biológiai alapnak, a fajtának van (Jolánkai, 1982; Lesznyákné, 1991).

Az egyes genotípusok másként reagálnak a különböző időjárási feltételekre. Az intenzív búzafajtákra jellemző például, hogy enyhébb teleken fokozottabban asszimilálnak és tápanyagokat, közöttük nitrogént is használnak (Rajki, 1960). Az évjárat jellege jelentősen befolyásolja az egyes búzafajták realizálható termésmennyiségét. A fajták egyik kiemelkedő értékmérő tulajdonsága ezért a különböző időjárási feltételekhez történő alkalmazkodóképesség (Pepó, 1995).

3.2.5. A különböző évjáratok hatása a termésképződésre

Az évjárat nagymértékben befolyásolja a búza növekedési paramétereinek alakulását és ezáltal a termést. Pepó (2005) őszi búza szárazanyag- és levélterület-dinamikai vizsgálataiban a képződött szárazanyag-tömeget, a levélterületet és a termésmennyiséget alapvetően az évjárat jellege határozta meg, mely hatásokat elsősorban a trágyázás, kisebb mértékben a fajta módosította.

A növények növekedése és fejlődése erősen függ a hőmérséklettől (Porter és Moot, 1998). Mind a magas, mind az alacsony hőmérséklet csökkenti a szárazanyag-produkció mértékét (Grace, 1988). A búzafajták eltérő mértékben tolerálják az extrém hőmérsékleteket (Páldi et al., 1996). Közvetlenül virágzás előtt a 31 °C feletti hőmérséklet pollensterilitás előidézésével és ezáltal a szemszám csökkentésével mérsékli a termést (Wheeler et al., 1996). A búza a vegetatív fejlődés során kevésbé érzékeny a hőmérsékletre, mint a generatív szakaszban (Entz és Fowler, 1988). Ha virágzás után a magas hőmérséklet vízhiánnyal párosul, ez annyira felgyorsítja a szenescencia sebességét, hogy már akadályozza a remobilizációt (Fischer és Kohn, 1966). A szemtelítődéskor fellépő aszály hatására a szénhidrátok akkumulációja lecsökken (Davidson és Chevalier, 1992). Slafer et al. (1993) alapján a búza a fejlődő szemekben az összes potenciálisan transzlokálható nitrogént el tudja tárolni, és aszályos körülmények között képes a virágzást megelőzően a vegetatív szervekben, beleértve a terméketlen hajtásokat is, eltárolt szárazanyag és N nagy részét hatékonyan a szemekbe transzlokálni.

Őszi búza fajtákon az állami fajtavizsgálat a LAI alakulását követte nyomon (Páty, 1974). Kedvező hőmérsékleten és nedvességviszonyok mellett az asszimiláló felület gyorsan nőtt, és a növényállományok május elején elérték maximális értéküket és meg is tartották egész májusban. Következő évben alacsony hőmérsékleten és kevés csapadékkal a levélfelület növekedése lassabb volt. A késői csapadék miatt azonban a LAI növekedése májusban felerősödött, egészen

a 11-14 m²/m² szélsőértékig nőtt. Ekkor a fényviszonyok változása (beárnyékolás) következtében a levelek gyors elhalása és a LAI értékek gyors csökkenése következett be, ami 0,3-2 t/ha termésveszteséget okozott.

Ewert és Honermeier (1999) vizsgálataiban a kalászonkénti kalászkák száma szignifikánsan változott a különböző évjáratokban, valamint szignifikáns növekedést mutatott a nitrogén műtrágyázás hatására. A differenciálódás kezdetén a levél- és virágkezdemények valamennyi fertilis szár végén megtalálhatóak, de a kezdemények megoszlása a vegetatív és reproduktív szervek között genetikai és környezeti tényezőktől függ, ez utóbbiak közül főként a hőmérséklettől és a fotoperiódustól (Hay, 1999).

Klíma változással kapcsolatos kutatómunkája során Erdélyi (2008) a 4M, a CERES modellen alapuló és hazai viszonyokra fejlesztett modellrendszert alkalmazva kimutatta, hogy a hőmérsékletnövekedés következtében a búza növény fenológiai fázisai várhatóan előbbre tolódnak, az érés időpontja korábban várható, átlagosan tízévente egy nappal.

A minőség kialakulásának az örökletes fajtatulajdonságon kívül alapvető tényezője a klíma. A búza termése és a termésminőség a klimatikus adottságoktól és azon belül is az évjárat időjárásától függ. Nyirkos klímán vagy csapadékos évjáratban sok, de gyengébb sütőipari minőségű búza terem. Száraz klímán kevesebb, de acélos, kitűnő minőségű búzára lehet számítani (Koltay és Balla, 1982).

3.3. Az őszi búza nitrogén műtrágyázása

A műtrágyázás hazai bevezetése

Hazánkban sokáig uralkodó szemlélet volt az, hogy a műtrágya az istállótrágyát nem helyettesítheti, hanem azt csak kiegészítheti, vagy hiányát pótolhatja. Ezek a megállapítások általában elméleti megfontoláson és nem kísérleti tényanyagon alapultak (Koltay és Balla, 1982). Grábner (1909) már a múlt század legelején megállapította, hogy éppen a gabonafélék azok, melyek alá a mesterséges trágyákat a legtöbb haszonnal alkalmazhatjuk. Bocz (1963) a világ legfontosabb búzatermesztő országainak műtrágyafelhasználása és búza-termésátlaga közötti összefüggést vizsgálva megállapította, hogy a búzatermések a műtrágyahasználattal párhuzamosan nőttek, és a termések is biztonságosabbak lettek. A búza modern tápanyagellátása országos szinten hazánkban az 1960-as évek közepétől kezdődött el. A búza termésmenésének országunkban is a legfontosabb tényezője volt a 70-es években a talaj természetes

tápanyagkészletéhez és az üzemi körülményekhez igazodó, megfelelő adagú és táparányú műtrágyázás (Koltay és Balla, 1982).

3.3.1. A N-műtrágyázás hatása az őszi búza termésére

Az 1960-as évekig a termesztési tényezők hatását a búza szemtermésének alakulására főként egytényezős kísérletekben vizsgálták. A termés viszont rendszerint több tényező egymásrahatásának a függvénye. A modern kísérleti elrendezések lehetővé teszik egyszerre több faktor komplex vizsgálatát, az egyszerű hatások elkülönített és az együttes hatások részletes elemzését.

Kompolton 1965-69-ben négytényezős (vetésidő, csíraszám, műtrágyázás és fajta) split-plot elrendezésű kispárcellás kísérletben a főhatások közül a fajták közötti terméskülönbségek és a műtrágyahatás bizonyult szignifikánsnak, ugyanez a kísérlet Putnokon csak műtrágyahatást mutatott (Pekáry, 1971). A nitrogén az őszi búza termését jelentős mértékben növelte. A N-műtrágyahatás maximuma mindkét kísérleti helyen 130-160 kg között volt (Kadlicskó et al., 1985).

Harmati (1980) alapján a köztermesztésben lévő búzafajták N-igényének kielégítése céljából mintegy 120-200 kg ha⁻¹ N hatóanyagra van szükség, fajtától, a talaj felvehető NPK-tartalmától, előveteménytől és a búza vízellátásától függően. E nagy mennyiségű nitrogén megosztott kiszórása indokolt a nitrogénvesztések mérséklése és a harmónikus N-ellátás biztosítása érdekében. A megosztás szükségességét fajtáink eltérő N-műtrágyareakciói is indokolják. Az őszi búza fajlagos N-igénye a termőhelyek átlagában 32,5 kg t⁻¹ (Debreczeni és Debreczeniné, 1994). Acevedo et al. (2002) alapján 1 t terméshez mintegy 25 kg ha⁻¹ N-műtrágyára van szükség. Szintén ebben a tanulmányban olvasható, hogy a nagyobb termés potenciállal rendelkező fajtáknak többnyire nagyobb a N-felhasználás hatékonyságuk.

Dél-Alföldi csernozjom talajon az optimálisnak talált műtrágyaadagok szintjén a nitrogén 22, a foszfor 8,2 és a kálium 3,8%-kal növelte átlagosan a Bezosztaja 1-es és 4-es búzafajták szemtermését (Kocsárdi, 1971). A kísérlet során a ha-onkénti 90-105 kg N hatóanyagot találták optimálisnak a búzafajták termésére. Savanyú csernozjom barna erdőtalajon 1964-74 között végzett tartamkísérletben vizsgálták többek között az őszi búza tápelemfelvételét és a szem- ill. szalmatermés NPK-tartalmát. A növényekben lévő tápelem-koncentrációkat leginkább a nitrogén műtrágya adagok befolyásolták (Holló, 1994). Az eredményeket összesítve megállapítható, hogy a növekvő NPK-adagok szinte minden esetben szignifikáns koncentráció-növekedést okoznak a búza szemtermésében. Nagyhörcsökön, mészlepedékes csernozjom talajon végzett vizsgálatok

alapján elmondható, hogy a pótlólagos nitrogén (50, 100 kg ha⁻¹) foszfor nélkül hatástalan, foszforral azonban számottevő termésmenővelő hatása van. A N-adag további, 100-ról 150 kg-ra történő emelése ugyan még növeli a termést, de ez a termésmenőbblet már jelentősen kisebb, mint az első két N-dózis között (Debreczeni és Dvoracsek, 1994a). További eredményként közölték, hogy a nitrogénadag optimuma a 150 kg. Mind a maximális, mind az optimális termést ennél az N-adagnál érték el. Karcagon, réti csernozjom talajon az optimális terméshez ugyancsak 100-150 kg N-re és a legtöbb esetben 50 kg P-ra volt szükség. Homoktalajon a növekvő (60, 120 és 180 kg ha⁻¹) N-ellátás igen nagy mértékű termésmenővekedést eredményezett. Négy év és a vizsgált fajták átlagában az alaptrágyázás + 120 kg ha⁻¹ nitrogén műtrágya bizonyult optimálisnak. Kedvezőbb N-szolgáltató képességű meszes réti talajon a N-műtrágyázás termésmenővelő hatása jóval kisebb volt, és nagymértékben az elővetemény hatásaitól függött (Harmati, 1994). Barna erdőtalajon a N-hasznosulása 87 kg ha⁻¹ N-szinten 42% volt. A N-adagok emelésével a N-hasznosulás fokozatosan csökkent (Németh, 1994). Harmati (1990) alapján a termésmaximum akkor érhető el barna erdőtalajon, ha a talaj ásványi N-mennyisége tavasszal a talaj 60 cm-es rétegében 150-180 kg ha⁻¹.

A N-műtrágyázásnak az őszi búza termésére gyakorolt hatásával számos külföldi tanulmány is foglalkozik. Podolska és Stankowski (2002) kísérleti munkájában az őszi búza termését és minőségét a nitrogén műtrágyázás, a vegetációs periódus időjárási feltételei és a fajták határozták meg. A N-kezelés a 3 vizsgálati évben, agyagos vályog és homoktalajon egyaránt növelte a termést (Singh et al., 1975). Svájcban folytatott műtrágyázási kísérlet eredményeként arról számoltak be, hogy a N műtrágyázás szignifikáns mértékben növelte a termést, valamint a biomassa tömeget (Rieger et al., 2008).

A N-műtrágyázás hatása az őszi búza termésére az elővetemény függvényében

A szükséges N-műtrágyázást lényegesen befolyásolja az elővetemény. A hüvelyesek közül a borsó jó búza-előveteménynek számít, mert nagy a tápanyag-feltáró képessége, gyökérzetének nagy a P- és K-tartalma, 50-80 kg N-nel gazdagítja a talajt, vízkímélő növény és korán betakarításra kerül. Az OMTK kísérletekben a búza számára a borsó minden termőhelyen jobb elővetemény volt, mint a búza (Debreczeni és Dvoracsek, 1994b). Meszes réti talajon kiváló elővetemény (olajlen) után csak a tavaszi 120 kg/ha N-adag növelte megbízhatóan a termést. Olajlen után mindkét évben rekordtermés volt (9,52 és 9,5 t/ha), míg búza után lényegesen kisebb volt a termés azonos agrotechnika és fajták mellett (Harmati, 1994). A kevésbé jó elővetemények (búza, kukorica) termésesökkentő hatását N-műtrágyázással

csökkenteni lehet, de megszüntetni nem. A búza termése monokultúrában minden esetben kisebb volt, mint vetésforgóban. A vetésforgó termésmenvelő hatása fordított arányban volt a búza részarányával a vetésforgóban. Legnagyobb volt a vetésforgó termésmenvelő hatása ($t\ ha^{-1}$) a norfolki forgóban (1,505), sorrendben a lucerna-kukorica-búza trikulturá (1,069), a búza-kukorica dikulturá (0,692) és a búza-lucerna dikulturá (0,35) következett. A vetésforgók búza monokultúrához viszonyított termésmenvelő hatását alapvetően nem módosította a trágyázás, az ún. rotációs hatás fennmaradt trágyázás nélkül és jó tápanyagellátottság esetén is (Berzsenyi és Györfly, 1997). Árendás et al. (2010) az évjárat és az elővetemény hatását vizsgálta a kukorica és az őszi búza műtrágya-reakciójára, tartamkísérletben. A N-műtrágyázás hatására átlagos csapadékú években, közepes P és K ellátottság mellett 1,68-2,76 t/ha terméstöbblet keletkezett. A nitrogénhatás kukorica elővetemény után nagyobb volt, mint búza után.

Műtrágyázási kísérletek Martonvásáron

Az 1960-as és 1970-es években Martonvásáron folytatott műtrágyázási kísérletekben kezdetben a búza közvetlen nitrogéntrágyázása volt nagyon hatásos, ezzel szemben a foszfor- és káliumhatást csak kivételes esetben sikerült megállapítani. A későbbiekben a nagyobb dózisok használata következtében kapott nagyobb termésszinteken, a foszforadagolás is mind kifejezettebb terméstöbblettel hatott és jelentős nitrogén x foszfor együttthatás volt megállapítható. Felvehető káliumban gazdag talajokon még a jelenlegi nagyobb nitrogén- és foszforhasználat mellett is esetenként nem lehet káliumhatást búzával kimutatni (Koltay és Balla, 1982), míg Pekáry (1972) szerint a nagyadagú nitrogén és foszfor mellett megnő a káliumvisszapótlás jelentősége, és a használt tápanyagszinteken már a káliummal közepesen ellátott talajokon is indokolt a búza káliumtrágyázása.

Martonvásáron provokatív célzattal a gazdasági optimumot meghaladó műtrágyamennyiségeket adagoltak búzafajták alá. Az eredmények alapján még a 1:0,5:1,2 arányú 940 kg ha^{-1} NPK hatóanyag sem okozott élettani rendellenességet (Koltay és Balla, 1982). Az erdőmaradványos csernozjom talajon 10 év átlagában az 1:1:1 táparányú NPK-adagolás bizonyult igen hatékonynak és gazdaságosnak.

Martonvásári kísérleti területen évekig vizsgálták azt, hogy a nitrogén műtrágya kiszórásának ideje (összel egy adagban, a tél folyamán 3 egyenlő részletben vagy tél végén egy adagban) hogyan hat a termésre. A nitrogénadagolás ideje az évek átlagában csak jelentéktelen terméskülönbségeket eredményezett (Koltay és Balla, 1982).

A talajművelés, fajta, vetésmélység, csíraszám, vetésidő, N-műtrágyázás és trágyázási idő termésre gyakorolt hatását és azok interakcióját 1960-tól 1963-ig vizsgálták. A tényezők közül minden évben és az évek átlagában is a nitrogénadagolás termésfokozása volt a legeredményesebb (Koltay, 1971). Az összes tényező és a három év átlagában a 87 kg ha⁻¹ N-hatóanyag 33%-os, a 174 kg ha⁻¹ N-hatóanyag pedig 39%-os szemterméstöbbletet adott. Koltay és Balla (1982) alapján a szárazság és csapadékhiány elleni leghatékonyabb védelem a megfelelő növénytaplálás. A Koltay kísérlet részbeni átalakításával alakítottuk ki vetésforgós műtrágyázásos kísérletünket, melyben vizsgálatainkat végeztük. A borsó, őszi búza, kukorica, tavaszi árpa vetésforgóban három őszi búzafajta N-reakcióját vizsgáltuk 3 egymást követő évben.

3.3.2. A N-műtrágyázás hatása az őszi búza minőségére

A műtrágyák a termés növelésén kívül jelentősen javítják a búza vetőmag-, továbbá a malom- és sütőipari minőségét (Erdei és Szániel, 1975). Pavlov és munkatársai (1976) több országban végzett kutatási eredmények alapján megállapították, hogy a búza minőségjavításánál lényeges a megfelelő mennyiségű és a megfelelő időpontban kijuttatott nitrogénműtrágya. További megállapításuk, hogy az alacsony nitrogénadagok a búza termését növelik, míg a 80-100 kg körüliek kedvezően módosítják mind a termésmennyiséget, mind a minőséget. További eredményként közölték, hogy a nitrogénműtrágyázás növelte az ezerszemtömeget, az acélossági értéket, valamint foszforral együtt kijuttatva a nedvessikér-tartalmat. Martonvásáron a kora tavasszal adott nitrogén-fejtrágya hatására mind a Bezosztaja 1, mind pedig a Fertődi 293 búzafajta fehérje-tartalma és sikérmennyisége növekedett, tehát javult a minőség. A minőségi rész tulajdonságok változásai fajtánként különböztek (Pollhamerné, 1973).

Árendás et al. (2000) vizsgálatában a növények N-ellátottsága és a termés fehérjetartalma közötti kapcsolatot igazolták. Stone és Savin (1999) az őszi búza N-műtrágyázásra adott reakcióját három szakaszra osztotta fel, miszerint a nitrogén az első szakaszban a termést növeli, míg a fehérjeszázalékot csökkenti. A fehérjeakkumuláció a második szakaszban fokozódik, a termésnövekedés ekkor azonban kisebb mértékű. A nagyobb dózisban kijuttatott N-műtrágyázásnál a reakció harmadik szakaszába lépve érhetjük el a maximális termést. Ragasits (1979, 1980) különböző mennyiségű és eltérő időpontban kijuttatott nitrogénműtrágya termésmennyiségre és minőségre gyakorolt hatásáról számolt be. Leírta, hogy nitrogénműtrágyázás hatására nőtt a zászlós levelek klorofill tartalma, amely a terméssel nem, de a szemtermés fehérjetartalmával szoros összefüggést mutatott. A fehérjetartalom a kontrollhoz

viszonyítva minden N-kezelésnél megbízható növekedést mutatott, valamint szorosan korrelált a sikértartalommal. Santosh (2011) szerint a szem fehérjetartalma a vegetatív fejlődés során eltárolt redukált N mennyiségétől függ.

Jolánkai et al. (1996) alapján adott őszi búza sikértartalmának kialakulásában a klimatikus tényezőkön kívül a legnagyobb hatása a N-műtrágyázásnak van. Gödöllői barna erdőtalajon, 1981-1986-os időszakban végzett NPK műtrágyázási kísérlet eredményei alapján a lisztminőséget meghatározó nedves- és szárazsiker tartalom alakulásában az évjárathatások domináltak, a kezeléshatások mérsékeltek voltak (Kovács, 1994).

A termés minőségét tekintve a N-műtrágyázás hatására a sütőipari minőség magasabb N-ellátottságig nő, mint a termés. Ezután a fehérje minősége a fehérjetartalom növekedésével romlik, mert a szemekben ez az extra N gliadinok, és nemfehérje nitrogén formájában tárolódik el, melyek a sütőipari minőséget rontják (Borghini et al., 1986).

A túlzott N-műtrágyázás következményei

A túlzott N-műtrágyázás kedvezőtlen a búza számára. Az egyoldalú őszi nitrogénfelvétel hatására a fiatal növényekben főleg fehérjék szintetizálódnak, csökken a növény cukortartalma, ezáltal csökken a fagy- és télállóság. A vegetáció későbbi szakaszaiban az egyoldalú nitrogénhatás megdőlést okozhat, mivel az erőteljes vegetatív folyamatok következtében vékonyabb lesz a szklerenchimareteg és gyengébb lesz a szár (Koltay és Balla, 1982). A nagy N-adagok fokozzák a vegetatív növekedést, elősegítik a bokrosodást. Túlzott N-adagolás esetén a szövetek szerkezete szivacsossá válik, ezért a növény a kórokozók által kiváltott fertőzésekre fogékonyabb (Árendás et al., 2001).

Pearman et al. (1977) szerint 200 kg ha^{-1} N-műtrágya mintegy 25%-kal csökkentette a búza levélterület index értékét. Basso et al. (2010) D-olaszországi búza monokultúrás tartamkísérletben végzett vizsgálatában megállapította, hogy gazdaságilag a 60 kg ha^{-1} N-műtrágyázás bizonyult a legmegfelelőbbnek. A 60 és 90 kg ha^{-1} kezelések termése között nem volt különbség, az ennél magasabb kezelésekben pedig jóval magasabb volt a N-kimosódás. Ugyancsak ebben a munkában állapították meg, hogy a 120 és 60 kg ha^{-1} N-kezelésekben 30%-ban, az N30, 60, 90, 120 és 180 kg ha^{-1} N kezelésekben 20%-ban nem különbözött az elért terméshozam.

Az európai unió országaiban egyre inkább előtérbe kerül a túlzott N-műtrágyázás okozta felszínközeli vizek elszennyeződésének problémája, ezért korlátozásokat vezettek be a N-műtrágya felhasználásában. Emiatt az újabb vizsgálatok már nem csak a termesztett búzafajták N

műtrágya-felhasználásának hatékonyabbá tételére, hanem a nitrogénhiány minél jobb tolerálására irányulnak (Borghí, 1999). Peltonen et al. (1995) kísérleteiben genetikai variabilitást tapasztaltak a N-hiány tolerálásnak mértékében. Feltételezhető, hogy a modern, nagy termés potenciálú fajták a N-hiányt eltérő mértékben tudják tolerálni. A jövőbeni nemesítési programok célja várhatóan olyan fajták létrehozása lesz, melyek minél jobban tudnak alkalmazkodni az ún. „low-input” agrotechnikához. (Borghí, 1999).

A korábbi és jelenlegi tapasztalatok birtokában újra kell gondolni a műtrágyázási gyakorlatot. Az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézete és az MTA Mezőgazdasági Kutatóintézete a '90-es évek második felében megkezdte egy új, környezetkímélő, az őszi búza intenzív, minőségorientált tápanyagellátását is elősegítő trágyázási szaktanácsadási rendszer kidolgozását (Árendás et al., 2001).

3.4. Növekedésanalízis

A növekedésanalízis célja és alapelvei

A növekedésanalízis a növénytermesztésben alkalmazható tudományos módszer, amely lehetővé teszi, hogy a kísérleti kezelések és a környezeti tényezők hatását ne csak a végső produktumban (szemtermés, biomassza) mérjük, hanem vizsgáljuk a fotoszintetikus produkció dinamikájában bekövetkezett változásokat a növény növekedésének és fejlődésének teljes időszakában (Berzsenyi, 2000a).

A növekedésanalízis általános célja, hogy elősegítse a növény szárazanyag-termelésében kifejezett növekedésének értelmezését. A növénytermesztési kutatásokban a növekedésanalízis célja, hogy a produkcióbiológiai vizsgálatok eredményeként:

- (1) pontos adatokat kapjunk arról, hogy milyen mértékben befolyásolják a különböző ökológiai és agronómiai faktorok a kultúrnövények növekedésének és növekedési jellemzőinek dinamikáját,
- (2) tanulmányozzuk a kultúrnövények - fent említett faktorokra adott – reakcióinak (response) sajátosságait és időbeni változását,
- (3) meghatározzuk a növekedési jellemzők érzékenységét a vizsgált faktorok változásaira,
- (4) összehasonlítsuk a különböző fajták, genotípusok növekedésének dinamikáját (pl. annak tanulmányozása, hogy a különböző környezetnek milyen hatása van egy adott fajtára) és
- (5) tanulmányozzuk a kompetíció hatását a kultúrnövény sűrítési kísérletekben és különböző típusú gyom-kultúrnövény kompetíciós kísérletekben.

A növekedésanalízis különösen alkalmas módszer a különböző növénytermesztési tartamkísérletekben (pl. trágyázási, vetésforgó, polifaktoriális) a kísérleti kezelések tartamhatásának kvantifikálására, a tényezők independens és interaktív hatásának tanulmányozására, és - más módszerekkel (pl. tápelemanalízis növényben és talajban) kiegészítve – az interakciók okainak feltárására (Berzsenyi, 2000b). A növekedésanalízis a növénytermesztési kutatásban a korszerű ökofiziológiai irányzatot képviseli (Gardner et al., 1985).

A növekedésanalízis egyszerű alapadatokat használ, mint amilyen az egész növény és/vagy részeinek (szár, levél, reproduktív szervek, gyökérzet stb.) száraztömege és az asszimiláló szervek nagysága (levélterület és más asszimiláló szervek területe vagy klorofilltartalom). A növények növekedésének kvantitatív analízise ezeken a meghatározott időintervallumokban begyűjtött és megmért elsődleges alapadatokon nyugszik. Az alapadatokból különböző növekedési jellemzőket számítunk ki, amelyek leírják a növénynek, illetve különböző részeinek a növekedését, az asszimiláló szervek és a szárazanyag-produkció közötti viszonyt. A növények növekedésanalízisében a primer adatokból öt eltérő típusú növekedési mutatót számítunk ki: abszolút növekedési ráták, relatív növekedési ráták, egyszerű arányok, összetett növekedési ráták és integrál mutatók. Meghatározhatjuk e mutatóknak a pillanatnyi értékét, vagyis nagyságukat egyetlen időpontban, továbbá átlagértékeiket egy adott időintervallumban (Berzsenyi, 2006). A tradicionális növekedésanalízis viszonylag egyszerű mutatói megkönnyítik az összehasonlítást a kutatások között és elősegítik az ontogenetikai trendek monitoringját is (Hunt, 1979).

A növekedésanalízis rövid története

A növényi növekedésanalízis alapjának Blackman (1919) „The compound interest law and plant growth” című dolgozata tekinthető, melyben a növények száraztömeg-növekedését a kamatos kamat törvényével írta le. Ezzel sok kritikát váltott ki, fő kritikusai West, Briggs és Kidd (West et al., 1920) volt. Az ő nevükhöz fűződik a „relatív növekedési sebesség (RGR)” mutató bevezetése az efficiencia index helyett. A növekedésanalízis kidolgozása továbbá Briggs et al. (1920a,b), Gregory (1918, 1926) és Watson (1947a és b, 1958) munkásságához kapcsolódik. A növekedési mutatók közül a nettó asszimilációs ráta (NAR) Gregory (1926), a levélterület index (LAI), a levélterület tartósság (LAD) és a termésnövekedési ráta (CGR) Watson (1947 a és b, 1958) nevéhez fűződik. A LAD analógiájára Kvet et al. (1969) bevezette a biomassza tartósság (BMD) mutatót. Közben elindult egy irányzat, melyben a növekedési

adatokhoz matematikai függvényeket illesztettek, ez azonban a túlzott leegyszerűsítés és a számítástechnikai hiányosságok miatt hamar háttérbe szorult. A növekedésanalízis fejlődése az 1920-as évek kezdetétől közel fél évszázadig megrekedt, mindössze a növekedésanalízis klasszikus módszerében történtek kisebb módosítások (Williams, 1946; Coombe, 1960; Evans és Hughes, 1962; Watson és Hayashi, 1965).

Az 1960-as évek végén a statisztika és számítástechnika fejlődése lehetővé tette a növekedésanalízis további kidolgozását, miközben a növényi vizsgálatokban is fejlődés indult. Az új módszerek a matematikai függvényeknek az alapadatokhoz való illesztésén alapultak. A függvényeket kezdetben a primer növekedési adatokhoz illesztették (Vernon és Allison, 1963). Miután a növekedési adatok statisztikai vizsgálata feltárta azok log-normál eloszlását, ezután a függvényeket már log-transzformált adatokhoz illesztették. A módszer előnyeit Radford (1967) és Hunt (1979) foglalta össze.

A növekedésanalízis alapelveit és klasszikus módszerét Evans (1972) *The quantitative analysis of plant growth* című könyve ismerteti részletesen. A növekedésanalízis módszereiről rövid, korszerű áttekintést nyújt Hunt (1982, 1990). A növekedésanalízis függvényillesztésén alapuló módszerét Hunt (1982), valamint Causton és Venus (1981) foglalta össze. A növekedésanalízis növénytermesztési alkalmazásáról két viszonylag újabb szakkönyv nyújt áttekintést (Gardner et al., 1985; Hay és Walker, 1989). A növekedésanalízis speciális növénytermesztési és növényvédelmi alkalmazásai magukba foglalják a növekedés interakcióit a növényi táplálkozással és a környezettel (Porter és Lawlor, 1991).

A növekedésanalízis csehszlovák iskolájában egyrészt a növényi fotoszintetikus produkció területén (Sestak et al., 1971), másrészt a széleskörű növénytermesztési alkalmazásban (Petr et al., 1985) értek el kiemelkedő eredményeket. A német szakirodalom a növekedésanalízist elsősorban a termésképződés fiziológiai vizsgálataiban alkalmazza (Geisler, 1981). A növekedésanalízis módszereinek fejlesztésében, valamint botanikai, ökológiai alkalmazásában változatlanul vezető helyet foglal el a Hunt és munkatársai által irányított iskola (University of Sheffield). Az utóbbi évtizedekben kiemelkedő növekedésanalízis kutatások folynak Hollandiában. Az elért eredményeket Lambers et al. (1989 és 1998) foglalta össze.

A magyar szakirodalomban elsőként Sigmond és Floderer (1906) írt a kukorica szárazanyag-felhalmozódásáról. Martonvásáron 1956 óta folynak ilyen jellegű kutatások (Ferencz, 1958; Bajai, 1959; Mándy, 1958 és 1962; Szabó és O'sváth, 1962; Györffy, 1965). A növekedésanalízist Précsényi István vezette be a hazai kutatásokba (Précsényi et al., 1976; Précsényi, 1977 és 1980). A növekedésanalízist hazánkban széleskörűen alkalmazzák az

ökológiai, botanikai és növénytermesztési kutatásokban (Sváb et al., 1968; Virágh 1980 a és b; Pozsgai, 1982; Szabó, 1983 és 1998; Dang, 1992; Berzsényi, 1993a; Ragab, 1997). A növekedésanalízis témakörében több PhD értekezés készült (Alföldi, 1997; Gazdagné, 1998; Iványiné, 1998; Csikász, 1998; Treitz, 2004; Micskei 2011).

A mintavételek és mérések módszerei a növekedésanalízisben

A növekedés mérésének módszerei a szekvenciális destruktív mintavételek segítségével közel évszázados agronómiai és ökológiai vizsgálatok alapján fejlődtek ki (Berzsényi, 2000b). A kísérleti módszereket Evans (1972): „The quantitative analysis of plant growth” c. könyve részletesen bemutatja.

Szabadföldi körülmények között igen bonyolult biztosítani azt, hogy a populáció minden egyede azonos környezeti körülmények között növekedjen. A kísérleti növények variabilitását minimális szinten kell tartani a lehető legkevesebb mintavétellel. A mintavételek időpontjának megválasztása során meg kell akadályozni azt, hogy a minta szórása elfedje az adott ráta növekedését vagy csökkenését. Általános irányelv, hogy két mintavétel között a növény mérete megduplázódjon, de a növekedés lehet ennek fele vagy kétszerese is. A kísérletekben leggyakoribb a 7 naponkénti mintavétel. Mivel a mintákból az alapsokaságra fogunk következtetni, annak reprezentatívnak kell lennie. Ezt a megfelelő mintavételi eljárás biztosítja. A leggyakrabban alkalmazott mintavételi eljárások a következők:

- (1) az egyszerű véletlen (random), melynél az alapsokaság minden egyede egyforma eséllyel kerül a mintába
- (2) a rétegzett véletlen (stratified random), ennek során az alapsokaság részhalmazokra osztható, mely rétegek arányosan szerepelnek a mintában, és
- (3) a szabályos (szisztematikus) mintavétel, melynél egy minta véletlenszerű kiválasztását követően a többi mintát szabályos szünetek, mintavételi intervallumok kihagyásával gyűjtik be.

A mintát betakarítást követően különböző részekre bontjuk: a fő fotoszintetizáló rendszere (levélzet), a szárra, a reproduktív szervekre (kalász) és a gyökérzetre. A különböző szervek nyers tömegének meghatározását a levélterület mérése követi, majd a száraz tömeg meghatározására kerül sor. A száraz tömeg (biomassza) alatt a hőszáritással, szárítószekrényben tömegállandóságra szárított növényi szövetet értjük (Berzsényi, 2000b).

A növekedésanalízis indirekt (nem destruktív) módszerei lehetővé teszik, hogy a méréseket ugyanazokon a növényegyedeken végezzük különböző időpontokban. Ezáltal

elkerülhetők a mintavételből származó hibák. A növényegyedek biomassza produkciójának indirekt becslésére használt fő módszerek:

- (1) a biomasszához viszonyított lineáris dimenziók a regresszió alapján, kalibrált mintavételek adataiból,
- (2) párosított növények parallel mintavételei,
- (3) modul számolás, átszámítva biomasszára, kalibrált mintavételeken keresztül (Berzsenyi, 2000b).

E módszerekről részletesen Sestak et al. (1971) munkájában olvashatunk.

3.4.1. A növekedésanalízis módszerei

Az 1960-as években a növekedésanalízis klasszikus és funkcionális módszerekre tagolódott. A két kifejezést Causton (1967) vezette be. Radford (1967) a „funkcionális” kifejezés helyett még a „dinamikus” szót használta. A két módszer közötti alapvető különbség az, hogy a funkcionális módszer függvényillesztést alkalmaz. A kétféle módszer nem zárja ki egymást kölcsönösen.

3.4.1.1. A növekedésanalízis klasszikus módszere

A klasszikus (vagy intervallum) módszernél a növények növekedését viszonylag nem gyakori mintavételek alapján vizsgáljuk, a mérések azonban egy-egy mintavételnél nagy számú növényen történnek. A módszer legfontosabb összefoglalása Evans (1972), valamint Causton és Venus (1981) könyveiben található.

A klasszikus módszer alkalmazása során a növekedési mutatók (paraméterek) átlagos értékeit, a két egymást követő mintavétel közötti intervallumra számítjuk ki. A mutatók átlagos értékeinek képleteit, a mutatók pillanatnyi értékeinek egyenleteiből integrálszámítással vezetjük le és osztjuk a mintavételek közötti idővel (Berzsenyi, 2000a). A klasszikus módszer alkalmazásáról ezidáig több tízezer publikáció született.

3.4.1.2. A növekedésanalízis funkcionális módszere

A növekedésanalízis függvényillesztésen alapuló ún. funkcionális módszere a matematikai modellezés egyik területe (Berzsenyi, 2002). A növekedésanalízis funkcionális módszerét az 1960-as években dolgozták ki (Vernon és Allison, 1963; Hughes és Freeman, 1967). A módszert Causton és Venus (1981) „The biometry of plant growth” és Hunt (1982) „Plant growth curves” című munkái foglalják össze. A funkcionális módszernél a mintavételek gyakoribbak, a mérések azonban egy-egy mintavételnél kevesebb növényre terjednek ki. A

funkcionális módszer alkalmazásakor a növekedési mutatók pillanatnyi értékeit a W (tömeg) és A (levélterület) primer változók vagy logaritmusaik idő szerinti sorozatához illesztett függvényekből számítjuk ki.

A funkcionális módszer legnagyobb előnye, hogy a pillanatnyi értékek közvetlenül kiszámíthatók az illesztett függvényből, összefüggéseket lehet megállapítani más mutatókkal, valamint statisztikailag alátámasztott alapadatokra épít. A függvényillesztésen alapuló funkcionális növekedésanalízis előnyeit a klasszikus módszerrel szemben Hunt (1982) foglalta össze. Ezek közül a legfontosabb, hogy a funkcionális módszer kiegyenlíti a kisebb eltéréseket és jobban értelmezhető, véletlenszerű ingadozásoktól mentes növekedési görbét kapunk. A funkcionális módszer egyszerre veszi figyelembe az összes mintavétel adatait, míg a klasszikus módszer egyszerre csak két-két mintavételből származó adatokat használ fel. A módszer további előnye, hogy nem feltétele a mintavételenkénti nagy egyedszám, és az információvesztés minden mintavételnél minimális. A két módszer ugyanakkor nem zárja ki egymást, ebben az esetben a mintavételek lehetnek gyakoriak, és a mérések kiterjedhetnek sok növényre. A növekedésanalízisben az utóbbi években egyre jobban előtérbe kerül a funkcionális megközelítés, mely nagy változatosságot nyújt a matematikai függvények tekintetében (Berzsenyi 2000a). Hunt (1982) bemutatta a függvényeket a legegyszerűbb elsőfokú exponenciális polinomtól a komplex, speciális módszerekig (harmadfokú polinomok spline módszere).

Hughes és Freeman (1967) növekedésanalízis programjában harmadfokú függvényt illesztettek a log-transzformált száraz tömeg és levélterület változók idő szerinti sorozatához. Hunt és Parsons (1974) ezt továbbfejlesztve olyan programot dolgozott ki, mely lehetővé tette alacsonyabb fokú (első- és másodfokú) polinomok illesztését, és a legmegfelelőbb függvény kiválasztását ún. stepwise módszerrel. A növekedésanalízis programot széles körben használják a nemzetközi és hazai vizsgálatokban. Általában a három és négy paramétert tartalmazó aszimptotikus függvények (logisztikus, Gompertz és Richards) kiválasztása célszerű, melyek közül a növekedésanalízisben a logisztikus függvényt használják a leggyakrabban. A Richards függvényt Causton és Venus (1981) vezette be a növekedésanalízisbe. Vizsgálataikban a Richards függvény érzékenyebb trendeket mutatott, mint az exponenciális polinomok. Nath és Moore (1992) a Richards függvény alkalmazására növekedésanalízis programot dolgozott ki. A függvényillesztés gyakorlati nehézségei (Hunt, 1981) elsőként, hogy minél több paramétert tartalmaz a matematikai függvény, annál jobban illeszkedik a mért adatsorhoz, viszont ezáltal az adatokat csak kisebb mértékben egyenlíti ki, másodsor pedig az, hogy nem enged

mechanisztikus betekintést a kutató számára. A kutatónak ezért a lehető legegyszerűbb modellel kell előnyben részesítenie, ami az indokolt kiegyenlítést elvégzi, ugyanakkor megfelelő mechanisztikus betekintést enged.

Paradox módon, az illesztett függvény értékesebb lehet a kutatónak, mint az eredeti megfigyelési adatok (Hunt, 1982). Ha a mért adatok véletlenszerű szórást mutatnak a valóság körül, a megfigyelési adatokhoz illesztett függvény visszaadhatja a valóságot. A funkcionális növekedésanalízis témakörben született publikációk száma néhány százra tehető.

3.4.2. A növekedési mutatók típusai

A növény tömegének és levélterületének primer adataiból a növekedési mutatók öt típusa számítható ki (Hunt, 1982):

- (1) abszolút növekedési sebességek (ráták),
- (2) relatív növekedési sebességek (ráták)
- (3) egyszerű arányok,
- (4) összetett növekedési sebességek (ráták),
- (5) integrál tartósság mutatók.

A felsorolt mutatóknak meghatározhatjuk a pillanatnyi értékét, illetve átlagértékét valamely időszakban.

A növekedésanalízis lehetőséget nyújt egyrészt a növényegyedek, másrészt a növényállomány vizsgálatára, melyek nem határolódnak el élesen egymástól.

A növényegyedek vizsgálatára az alábbi mutatók szolgálnak:

- (1) abszolút és relatív növekedési sebesség (AGR, ALGR, RGR, RLGR),
- (2) nettó asszimilációs ráta (NAR),
- (3) levélterület-arány (LAR),
- (4) specifikus levélterület (SLA),
- (5) levéltömeg arány (LWR).

A növényállomány növekedésanalízisének mutatói:

- (1) levélterület-index (LAI),
- (2) termésnövekedési sebesség (CGR),
- (3) nettó asszimilációs ráta (NAR),
- (4) harvest index (HI),
- (5) levélterület tartósság (LAD),
- (6) biomassa tartósság (BMD).

A növekedési mutatókat szezonális dinamikával, átlagos, maximális és pillanatnyi értékekkel jellemezhetjük.

3.4.3. A növekedésanalízis alkalmazása a növénytermesztésben

A növekedésanalízis standard módszer a növényegyedek és növényállományok nettó fotoszintetikus produkciójának vizsgálatában a világ számos részén.

A külföldi és hazai irodalomban a növekedésanalízist számos növényfaj növekedésének jellemzésére felhasználták. Berzsényi és Lap (2000) kutatásai alapján a növekedésanalízis különösen alkalmas módszer a kukoricanövény növekedésének – mint biomassza-produkciónak – és a növekedést befolyásoló ökológiai és agronómiai faktorok komparatív vizsgálatára. Hunt (1978) cukorrépa, árpa, burgonya és búza növények növekedési mutatóit határozta meg, és tanulmányozta Rothamstedben. A kukorica és a napraforgó relatív növekedési sebességének időbeni változását ismerteti Evans (1972) tanulmánya. Brougham (1960) fehérhere, káposzta, angolperje, olaszperje, vöröshere és kukorica maximális termésnövekedési sebességét (CGR_{max}) és kritikus levélterület indexét (LAI_{krit}) hasonlította össze. Evans (1993) kukorica, cirok, cukorrépa, búza, gyapot, manióka, szója, bab és olajpálma levélterület indexének (LAI) hatását tanulmányozta a termésnövekedési rátára (CGR). Berzsényi (2009) tartamkísérletben növekedésanalízissel vizsgálta a kukorica hibridek N-műtrágya reakcióját. Micskei (2011) kukoricán végzett növekedésanalízis vizsgálatokat.

A növekedésanalízis alkalmazása őszi búza kísérletekben

A növekedésanalízist újabban őszi búza tápanyag- és fajtakísérletekben is egyre gyakrabban felhasználják.

Olaszországban elővetemény és különböző N-műtrágya dózisosok hatását vizsgálták durum búza kísérletben növekedésanalízissel (Ferrotti et al., 2004). Bertholdsson és Stoy (2008) polinom növekedési görbéket illesztett egyes búzafajták szárazanyag produkciójának primer adataihoz. Houlès et al. (2007) N-műtrágyázási kísérletben a levélterület index és a föld feletti száraztömeg közötti összefüggést logaritmikus függvénnyel írta le, míg Blondlot et al. (2005) a két tényező közötti viszonyt szárbaindulás idején lineáris függvénnyel jellemezte. Franciaországi kísérletben őszi és tavaszi búzafajták növekedési paramétereit hasonlították össze. Megállapították többek között azt, hogy az őszi búzafajták levélterület index értéke május végén érte el maximumát (Watson et al., 1963). Lupton et al. (1974) szerint a termést elsősorban a zászlólevél terület tartóssága, illetve a kalász növekedési sebessége határozta meg. Pepó (2005)

szárazanyag- és levélterület-dinamikai vizsgálatokat végzett őszi búza állományokban. Vizsgálataiban a képződött szárazanyag-tömeget, a levélterületet és a termésmennyiséget alapvetően az évjárat jellege határozta meg, mely hatásokat elsősorban a trágyázás, kisebb mértékben a fajta módosította. Dolgozatában leírta továbbá, hogy a szárazanyag-képződés a tenyészidőszak végéig tartott és az egyes növényi részek (levél, szár, kalász) szárazanyag-képződési dinamikája jellegzetes különbségeket mutatott. A LAI_{max} értékek a kalászhányás-virágzás időszakában alakultak ki. Az elvégzett korrelációanalízis eredményei alapján a legszorosabb összefüggést a termés és a szárazanyag-tömeg ($R^2=0.980^{xx}$), a termés és a LAI értékek ($R^2=0.940^{xx}$), az évjárat és a szárazanyag-tömeg ($R^2=0.731^{xx}$), valamint a trágyázás és a LAI értékek ($R^2=0.717^{xx}$) között lehetett megállapítani. Johnston és Fowler (1992) arról számoltak be, hogy vizsgálataikban a levélterület (LAI) nagyságát a növekvő műtrágya adagok (elsősorban a nitrogén) jelentős mértékben növelték. Sokoto et al. (2012) a 2009/2010-es és 2010/2011-es tenyészidőszakban, Nigériában folytatott vizsgálataiban a növénymagasság, a m^2 -enkénti hajtások száma, a levélterület index (LAI), a nettó asszimilációs ráta (NAR), a termés növekedés sebessége (CGR), a m^2 -enkénti kalászsorszám, a kalászhossz, a kalásonkénti kalászkák száma, a kalásonkénti szemek száma, az ezerszemtömeg, a teljes föld feletti biomassa és a harvest index szignifikáns pozitív korrelációt mutatott a terméssel. Indiában végzett tanulmányban (Ram et al., 2005) arról számoltak be, hogy a nitrogén műtrágyázás hatására 120 kg/ha szintig szignifikánsan nőtt a növénymagasság és a levélterület index. Karimi és Siddique (1991) a levélterület index, a relatív növekedési sebesség és a termésnövekedés sebesség alakulását tanulmányozta új és régi búza fajtákon, Ausztráliában. Munkájuk során megállapították, hogy a modern fajtákat a vegetatív fázisban nagyobb RGR és alacsonyabb kezdeti LAI jellemezte, majd ezek a fajták virágzáskor nagyobb CGR értéket, valamint betakarításkor nagyobb termést értek el. Sugár és Berzsenyi (2010, 2011) a növekedésanalízis klasszikus, illetve funkcionális módszerével jellemezte különböző búzafajták növekedési dinamikáját és termését.

Az utóbbi évtizedekben egyre gyakoribb a különböző szimulációs modellek alkalmazása. Ismertebb búza szimulációs modellek többek között az AFRC-WHEAT, a CERES-Wheat, illetve a SIRIUS, melyek összehasonlításáról Jamieson et al. (1998) készített tanulmányt.

4. ANYAG ÉS MÓDSZER

4.1. A kísérlet jellemzése

A nitrogén kezelések hatását a 2006/2007, a 2007/2008 és a 2008/2009 években vizsgáltuk az MTA ATK Mezőgazdasági Intézet (korábban: MTA Mezőgazdasági Kutatóintézete) László-pusztai agrotechnikai kísérleti területén, mély termőrétegű erdőmaradványos csernozjom talajon, őszi búza vetésforgós tartamkíséretében, ahol a növényi sorrend borsó, őszi búza, kukorica és tavaszi árpa.

A kisparcellás kísérletet eredetileg Koltay Árpád állította be. A kísérletet módosított formában újraindítottuk 1980-ban. Az eredeti műtrágya dózisokra alapozva, a N-műtrágya kezeléseket és a vetésforgó növényeit egyaránt módosítottuk.

4.1.1. A kísérleti kezelések és a kísérlet elrendezése

A kísérlet kéttényezős, split-plot elrendezésű, négy ismétléses. A főparcellában a N-műtrágya kezelések találhatók, melyek a következők: A(N₀): 0, B(N₄₀): 40, C(N₈₀): 80, D(N₁₂₀): 120, E(N₁₆₀): 160, F(N₂₀₀): 200, G(N₂₄₀): 240, H(N₂₈₀): 280 kg ha⁻¹. Az alparcellákban összesen 12 martonvásári búzafajta szerepel. Munkánkban három, különböző érésidejű martonvásári genotípust, az extra korai Mv Toborzót, a korai Mv Palotást és a középkorai Mv Verbunkost vizsgáltunk az N₀, N₈₀, N₁₆₀ és N₂₄₀ kezelésekből. Az általunk vizsgált három fajta dupla parcellákban került vetésre, az egyik a mintavételezés számára a növekedésanalízis vizsgálatokhoz, a másik a betakarításkori termés meghatározására. A dolgozatban további vizsgált paraméter az évjáráthatás volt.

A kísérleti területen a borsó tarlóra 120-120 kg ha⁻¹ P (18%-os szuperfoszfát) és K (40%-os kálisó) műtrágyát juttattunk ki őszi, egy adagban, gépi szórással. A műtrágyát tárcsázással dolgoztuk be a talajba, majd hengerezéssel zártuk le a talajfelszínt. A N-műtrágya 1/3-át őszi, közvetlenül vetés előtt juttattuk ki kézi szórással. A vetőágykészítés kompaktortal történt. A vetés időpontja a három vizsgálati évben: 2006.10.19, 2007.10.17 és 2008.10.16. A vetést Wintersteiger Plot Spider vetőgéppel, 12 cm-es gabonasortávval és 5,5 millió csíra/ha vetőmagmennyiséggel végeztük. A N-műtrágya 2/3-ad részét tavasszal, kézzel szórtuk ki a parcellákra.

A gyomok ellen tavasszal a bokrosodás idején hormonhatású szerrel, valamint szárbainduláskor, 2 nóduszos fejlettségénél Granstar+Starone kombinációjával védekeztünk. A hormonhatású gyomirtással egyben gombaölő szer (Falcon) is kijuttatásra került. Virágzáskor

gombaölő, valamint a vetésfehérítő bogár ellen rovarölő védekezést (Amistal Xtra + Karate) hajtottunk végre. A növényvédő szereket Gambetti 600 függesztett permetezőgéppel juttattuk ki.

Az őszi búza betakarítását Sampo-Rosenlew parcellakombájnnal végeztük, melynek időpontja 2007.07.02., 2008.07.30-31. és 2009.07.10-13. 2008-ban a csapadékos időjárás késleltette az aratást.

4.1.2. A kísérlet talajviszonyai

A kísérlet Martonvásár határában, László-pusztán, az Észak-Mezőföld süllyedékterületi peremén (Szücs, 1963), mély termőrétegű, erdőmaradványos csernozjom talajon helyezkedik el. Az aranyféle kötöttségi szám (41) alapján fizikai talajfélesége vályog (Stefanovits, 1981). A N-műtrágyázás hatását az egyes talajtulajdonságokra az 1. táblázat tartalmazza. A termőréteg humusztartalma 2,7-3%, mely szignifikáns eltérést nem mutatott az eltérő N-kezelésekben.

1. táblázat. A N-kezelés hatása a talajtulajdonságokra, kukorica - tavaszi árpa - borsó – őszi búza vetésciklusban, a talaj 20 cm-es rétegében

N-kezelés kg ha ⁻¹	Humusztartalom [%]	pH-érték (KCl)	Összes N [mg kg ⁻¹]	P ₂ O ₅ [mg kg ⁻¹]	K ₂ O [mg kg ⁻¹]
0	2,74a	6,86ab	7,88b	282,0a	205,0a
80	2,94a	6,55b	9,94ab	236,3a	221,5a
160	2,81a	7,02a	11,18ab	247,8a	206,3a
240	2,96a	6,76ab	13,32a	259,5a	233,3a

Az egy-egy oszlopon belül azonos betűvel jelölt kezelések nem különböznek egymástól szignifikánsan a Duncan teszt alapján

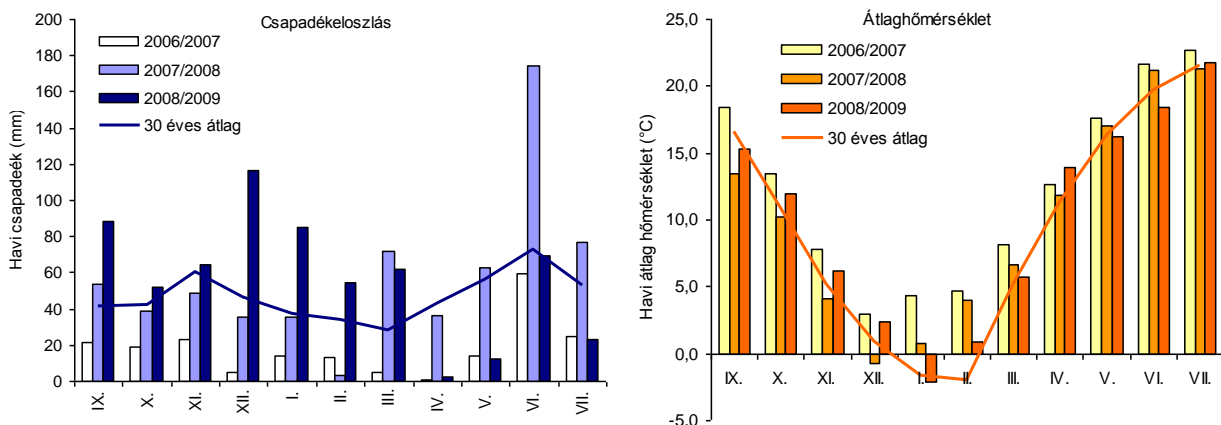
A talaj pH-ja gyengén savanyú, illetve közömbös. A talaj összes nitrogén tartalma (NO₂+NO₃) az emelkedő N-szinteken növekedést mutatott, az N₂₄₀ kezelésben szignifikáns mértékben meghaladta az N₀ kezelésben mért értéket. A talaj P₂O₅ tartalma 236-282 mg kg⁻¹, K₂O-tartalma 205-233 mg kg⁻¹ között változott, és szignifikánsan nem különbözött az egyes N-kezelésekben.

4.1.3. A három vizsgált év időjárásának jellemzése

A dunántúli térségben elhelyezkedő kísérleti területet többnyire napsütéses, nagyobb hőingadozású, viszonylag csapadékszegény klíma és aszályra hajlamos nyári időjárás jellemzi. A meteorológiai adatokat (1. ábra) a Kutatóintézet területén elhelyezkedő meteorológiai állomás szolgáltatta.

A tenyésztés alatt lehulló csapadék mennyisége 2007-ben mintegy egyharmada (200 mm) volt a 2008. és 2009. évekhez képest (637,8, illetve 616,6 mm), és a harminc éves átlag (513 mm) felét sem érte el. Ráadásul a csapadék nagy része ebben az évben az érés és betakarítás szempontjából kedvezőtlen időben (június-július hónapokban) hullott, míg a bokrosodás és szárbaindulás idején (márciusban és áprilisban) szinte egyáltalán nem hullott csapadék. A 2008-as és 2009-es év csapadék szempontjából kedvezőnek mondható. A csapadék eloszlása 2008-ban volt a legkedvezőbb, a csapadékhiányos február kivételével mind az őszi-téli, mind a tavaszi hónapok elegendő csapadékot biztosítottak, bár a júniusi nagy esők késleltették a betakarítást. A csapadék eloszlása 2009-ben az áprilisi csapadékhiánytól eltekintve ugyancsak kedvezett az őszi búza számára.

Az átlaghőmérséklet a 2006/2007-es tenyésztési időszakban nagyobb volt (12°C), mint a másik két tenyésztési időszakban (10°C), és különösen enyhe téli időjárás volt jellemző. A harminc éves átlagnál mindhárom vizsgálati év átlaghőmérséklete magasabb volt (9°C).



1. ábra. A havi csapadék eloszlása és a havi átlaghőmérséklet 2007-2009-ben, valamint az elmúlt harminc év átlagában (Martonvásár)

4.1.4. A kísérletben szereplő búzafajták jellemzése

A vizsgált fajták közül az Mv Toborzó extra korai érésű, javító minőséget adó „Pannon standard” búzafajta, melynek termőképessége a malmi búzafajtákkal is versenyképes. Extra korai érésének köszönhetően kitűnő fagyállóság, korai kalászolás és érés jellemző rá. Korai virágzása miatt a szemtelítődés a hőségnapok előtt befejeződik. Nagy ezerszemtömeget tud elérni. Korai érésűjével hozzájárul az aratási szezon üzem szervezési optimalizálásához.

Szárszilárdsága jó, megdőlésre nem hajlamos. Magas fehérjetartalmú, jó farinográf értékű és magas alveográf értékű fajta, melynek sikértartalma 33-37%. Az állami elismerés éve 2003.

Az Mv Palotás korai érésű, bőtermő, javító minőségű „Pannon prémium” fajta. Igen jó szárszilárdsággal rendelkezik. Korai érésével szintén elkerüli a hőségnapokat, és kiváló a fagyállósága. Alacsony szára és jó megdőlés ellenállósága miatt intenzív tápanyagellátással és növényvédelemmel érdemes termesztetni. Kiváló sütőipari minőség jellemzi, nedvessikér tartalma 32-36%, faronográf értéke alapján A₁-A₂ javító minőségű csoportba sorolható. Az állami elismerés éve 2000.

Az Mv Verbunkos középkorai érésű, javító minőségű „Pannon nagy sikértartalmú” búzafajta, az üzemi átlagnak megfelelő vagy azt kissé meghaladó terméssel. A magyar fajtaszortiment egyik kiemelkedő sikértartalmú búzafajtája. Nedves sikértartalma extra magas, a hivatalos vizsgálatokban 37,9-41,5% között változott. Kiváló szárszilárdsággal rendelkezik, megdőlésre nem hajlamos. Középkorai érésével jól alkalmazkodik a hazai éghajlati adottságokhoz. Nagyon jó farinográfus minősége A₂ (B₁), jó kenyérsütési paraméterei miatt a belőle készült liszt jól megfelel a hazai pékek, sőt a száraztészta-ipar igényének is. Az állami elismerés éve 2001.

4.2. A kísérletben végzett kutatómunka bemutatása

4.2.1. Mintavételek és az ökofiziológiai mérések előkészítése

A növekedésanalízis vizsgálatokhoz a mintákat véletlen mintavételi eljárással, destruktív módszerrel gyűjtöttük be. A mintavételeket a tél folyamán, a nappali fagyok elmúltával kezdtük el, és egészen betakarításig folytattuk, egyhetes intervallumokkal. Parcellánként 5-5 db növényt gyűjtöttünk gyökérrel együtt, 2007-ben összesen 24, 2008-ban 20, 2009-ben pedig 17 alkalommal. Mintavételenként 240 db növénymintát dolgoztunk fel. A minták könnyebb kezelhetősége miatt a gyökeret közvetlenül a növekedésanalízis vizsgálatok megkezdése előtt vágtuk le, ugyanekkor eltávolítottuk a növényi mintákról az esetleges szennyeződések is.

A növényi minták előkészítése során elsőként megállapítottuk a növény fejlettségi állapotát. Ezután megmértük a teljes növény és a kalászok hosszát, valamint megszámláltuk a mellékajtásokat, nóduszokat, kalászokat és az egyes hajtásokon található leveleket. Ezt követően történt a minták felosztása levél, szár, kalász részekre. A szár és a kalász részeket feliratozott papírzacskóba tettük.

4.2.2. Ökofiziológiai vizsgálatok

Levélterület mérés

A levelek gyors hervadása miatt a legsürgetőbb feladat a levélterület mérése volt. Ezt külön elvégeztük a teljes növényen, illetve a főhajtás zászlóslevelén is. A levélterületet direkt méréssel, hordozható és könnyen kezelhető ADC AM300-as levélterület-mérő műszerrel határoztuk meg. A leveleket szépen „kisimítva” helyeztük a műszeren található fólia alá, majd a görgethető fejet végighúztuk fölötte, amíg az lefénképezte és lemérte a levélterület nagyságát. Az adatokat feljegyeztük. Ezután a leveleket is jelöléssel ellátott papírzacskóba helyeztük.



ADC AM300 levélterület-mérő műszer

Száraztömeg meghatározás

A levél, szár és kalázmintákat MEMMERT ULE/800 típusú szárítószekrénybe tettük, melyben 65 °C-on 48 órán keresztül, megfelelő ventiláció biztosításával, tömegállandóságig szárítottuk. A mintákat a szárítószekrényből kivettük, és egy óra elteltével analitikai mérleggel meghatároztuk az egyes növényi részek száraz tömegét.

Fenológiai felvételezések

A felvételezések során feljegyeztük a főbb fenológiai stádiumok (kelés, bokrosodás, szárbaindulás, kalászolás, virágzás, érés) idejét.

A zászlóslevél klorofill tartalmának mérése

Minolta SPAD 502 típusú, hordozható klorofillmérő műszerrel mértük a zászlóslevél klorofill tartalmát virágzás idején.

A műszer a levélen áthaladó fény mennyiségéből becsüli meg a klorofill mennyiségét. A SPAD értékből következtetni lehet a növény nitrogén-igényére. A módszer előnye, hogy egyszerű, gyors mérést tesz lehetővé nem destruktív módon, és a mérések átlagát el tudja menteni (Adu et al. 2011).



Minolta SPAD 502 klorofillmérő műszer

A szemtermés és a terméskomponensek meghatározása

A hektáronkénti szemtermést a parcellánként betakarított termésből számoltuk ki. Betakarítás előtt 1 folyóméter hosszúságú mérőbot mentén megszámoltuk az egy sorban lévő, egy folyóméterre eső, produktív kalászkok számát. A kalásonkénti szemek számát az utolsó mintavétel során határoztuk meg. Az ezerszemtömeget a szemeket kévemintákból kicsépelve, megszámoló készülékben 1000 szem leszámolását követően mértük.

A szemtermés beltartalmi paramétereinek meghatározása

A szemtermésből vett mintákból Perten 3100 típusú labormalomban durva őrleményt készítettünk. Ezt követően Perten INFRAMATIC 8600 típusú, a közeli infrafény visszaverődése alapján működő (NIR) analízáló készülékkel (Micskei 2011) határoztuk meg a szemtermés fehérje- és sikértartalmát. A mintákon 2-2 mérést végeztünk és a kapott eredményeket átlagoltuk. A módszer előnye, hogy viszonylag egyszerűen és gyorsan elvégezhető.



Perten 3100 labormalom



Perten INFRAMATIC (NIR) analízáló készülék

4.3. A növekedési mutatók és kiszámításuk

A növekedésanalízis vizsgálatok kiterjedtek a növényegyedekre és a növényállományra egyaránt. A növekedési mutatókat szezonális dinamikával, átlagos, maximális és pillanatnyi értékekkel jellemeztük. Az egyes növekedési mutatók kiszámításának módszerei, mértékegysége és pillanatnyi értéke (Berzsényi 2000b) az *M2. sz. mellékletben* található.

Abszolút növekedési sebesség mutatók

Abszolút növekedési sebesség (AGR, G)

Leggyakrabban az egész növény vagy a növényi szervek száraztömegének (W) időegység alatti növekedését jelenti. Az abszolút növekedési ráta értékes komparatív mutató, különböző kísérleti kezelések hatásának összehasonlításakor, azonban nem ad megfelelő információt a növény szárazanyag-termelésében kifejezett fiziológiai teljesítményéről, mivel legtöbbször arányos a növény méretével.

$$\text{Átlagértéke } t_1 \text{ és } t_2 \text{ időpont között: } \overline{AGR} = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1}$$

$$\text{Pillanatnyi értéke: } AGR = \frac{dW}{dt}$$

Mértékegysége: (g nap⁻¹) vagy (g hét⁻¹).

Levélterület abszolút növekedési sebessége (ALGR)

A levélterület abszolút növekedési sebessége az AGR-hez hasonlóan a növény összes zöld, asszimiláló levélterületének a növekedését, illetve csökkenését fejezi ki időegység alatt.

$$\text{Átlagértéke } t_1 \text{ és } t_2 \text{ időpont között: } \overline{ALGR} = \frac{L_{A2} - L_{A1}}{t_2 - t_1}$$

$$\text{Pillanatnyi értéke: } ALGR = \frac{dL_A}{dt}$$

Mértékegysége: cm² nap⁻¹ vagy cm² hét⁻¹.

Relatív növekedési sebesség mutatók

Relatív növekedési sebesség (RGR,R)

A növekedésanalízis nagyon fontos mutatója, mely kifejezi az elsődleges szervesanyag-tartalom időbeni felhalmozódásának sebességét. Az RGR segítségével a növények relatív

teljesítménye sokkal pontosabban összehasonlítható, mint az AGR-rel. A relatív növekedési sebességet Blackman (1919) a szárazanyag-produkció efficienciaindexének nevezte, mivel a növekedést a tömegbeni növekedés rátájaként, egységnyi tömegre vetítve fejezi ki.

$$\text{Átlagértéke } t_1 \text{ és } t_2 \text{ időpont között: } \overline{RGR} = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{t_2 - t_1}$$

$$\text{Pillanatnyi értéke: } RGR = \frac{1}{W} \frac{dW}{dt}$$

Mértékegysége: $g \ g^{-1} \ \text{nap}^{-1}$ vagy $g \ g^{-1} \ \text{hét}^{-1}$ (%/nap, %/hét).

Egyszerű arányok

Levélterület arány (LAR, F)

A levélterület arány (LAR) a növény levélterületének (L_A) aránya a növény száraz tömegéhez (W), és visszatükrözi a fotoszintetikus kapacitás mértékét a respiráló tömeghez viszonyítva (Berzsenyi 2000b). A növény levélborítottságának morfológiai mutatója, melyet Briggs et al. (1920a,b) használtak először. Minthogy a LAR jellemzi az asszimiláló szervek relatív nagyságát, fontos tényezője a növényfajok (fajták) vagy növényállományok közötti differenciáknak, amelyet genetikai különbségek, a környezet vagy kísérleti kezelések okoznak. A levélterület arányt két komponensnek, a specifikus levélterületnek (SLA) és a levéltömeg arányának (LWR) a szorzatára bonthatjuk fel, melyeket elkülönülten tudunk tanulmányozni (Berzsenyi, 2006).

$$\text{Átlagértéke } t_1 \text{ és } t_2 \text{ időpont között: } \overline{LAR} = \frac{(L_{A1}/W_1) + (L_{A2}/W_2)}{2}$$

$$\text{Pillanatnyi értéke: } LAR = \frac{L_A}{W}$$

Mértékegysége: $\text{mm}^2 \ g^{-1}$, $\text{cm}^2 \ g^{-1}$ vagy $\text{m}^2 \ g^{-1}$.

Specifikus levélterület (SLA)

A specifikus levélterület (SLA) az átlagos levélterület expanziót (L_A) fejezi ki a levél száraztömegéhez (L_W) viszonyítva. A specifikus levélterület megközelítőleg azt mutatja, milyen levélstruktúra képződik a rendelkezésre álló szárazanyagból.

$$\text{Átlagértéke } t_1 \text{ és } t_2 \text{ időpont között: } \overline{SLA} = \frac{(L_{A1}/L_{W1}) + (L_{A2}/L_{W2})}{2}$$

Pillanatnyi értéke: $SLA = \frac{L_A}{L_w}$

Mértékegysége: $\text{mm}^2 \text{mg}^{-1}$ vagy $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$.

Levéltömeg-arány (LWR)

A levéltömeg arány (LWR) a növény összes levelének száraztömege (L_w) és a növény száraztömege (W) közötti arány. Az LWR kifejezi, hogy az összes asszimilátáknak mekkora hányada marad vissza a levélben. A növény „produktív investálásának” mutatója, mivel a potenciálisan fotoszintetizáló szervekre történt relatív ráfordítást fejezi ki (Berzsenyi, 2006).

Átlagértéke t_1 és t_2 időpont között: $\overline{LWR} = \frac{(L_{w1}/W_1) + (L_{w2}/W_2)}{2}$

Pillanatnyi értéke: $LWR = \frac{L_w}{W}$

Mértékegysége: nincs. Értéke: $0 < x > 1$.

Összetett növekedési sebességek

Nettó asszimilációs ráta (NAR, ULR, E)

A nettó asszimilációs ráta a növények produktív efficienciájának olyan indexe, melyet nem az összes száraz tömeghez (mint az RGR-t), hanem az összes levélterülethez viszonyítva számítunk ki, vagyis a NAR az összes levélterület (L_A) egységére vetített szárazanyag-produkció rátája. A NAR-t mind a növényegyedek, mind a növényállományok növekedésének mutatójaként használjuk. A NAR gyakorlatilag a fotoszintézis hosszú időtartamú mérése. A NAR értékére közvetlenül hat a fény, de értéke a denzitás növekedésével csökken.

Átlagértéke t_1 és t_2 időpont között: $\overline{NAR} = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1} \frac{\ln L_{A2} - \ln L_{A1}}{L_{A2} - L_{A1}}$

Pillanatnyi értéke: $NAR = \frac{1}{L_A} \frac{dW}{dt}$

Mértékegysége: $\text{mg mm}^{-2} \text{nap}^{-1}$ vagy $\text{g m}^{-2} \text{nap}^{-1}$.

Termésnövekedés sebessége (CGR)

A termésnövekedés sebessége (CGR) a növényállományokban a produkció efficienciájának fontos mutatója, mely a növényállomány szárazanyag produkciójának (W)

sebességét egységnyi termőterületre (P) és időegységre (t) vetítve fejezi ki. A CGR növekedési mutatót Watson (1958) vezette be a növekedésanalízisbe.

$$\text{Átlagértéke } t_1 \text{ és } t_2 \text{ időpont között: } \overline{CGR} = \frac{1}{P} \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1}$$

$$\text{Pillanatnyi értéke: } CGR = \frac{1}{P} \frac{dW}{dt}$$

Mértékegysége: $\text{g m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$ vagy $\text{t ha}^{-2} \text{ év}^{-1}$.

Levélterület-index (LAI)

A levélterület-index (LAI) a növényállomány egységnyi területére eső levélterületet jelenti, és kifejezi az asszimiláló rendszer méretét és a fényadaptációt. A növényenkénti levélterület (L_A) és a tenyészterület (P) közötti arány, levélterület egységnyi tenyészterületre vetítve (Berzsenyi, 2006).

$$\text{Átlagértéke } t_1 \text{ és } t_2 \text{ időpont között: } \overline{LAI} = \frac{(L_{A1} / P_1) + (L_{A2} / P_2)}{2} \text{ vagy}$$

$$P_1 = P_2 \text{ esetén: } \overline{LAI} = \frac{L_{A1} + L_{A2}}{2P}$$

$$\text{Pillanatnyi értéke: } LAI = \frac{L_A}{P}$$

Mértékegysége: dimenzió nélküli, pozitív szám ($\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$).

Levélterület tartósság (LAD)

Watson (1947) rámutatott arra, hogy a levélterület-index (LAI) idő szerinti görbéje alatti területet integrálva, az individuális értékek összegezhetőek a teljes vegetációs időszakban, és az így kapott mutatót levélterület-tartósságnak nevezte el. A levélterület-tartósság (LAD) tehát nem csak azt fejezi ki, hogy mekkora levélterület fejlődik, hanem azt is, hogy mennyi ideig marad fenn a levélterület a növény növekedésének időszakában. A LAD nem pillanatnyi, hanem integrál mutató, mely visszatükrözi a sugárzásabszorpció szezonális integrálját. A LAD-ot ki lehet számítani a levélterület és a levélterület-index alapján egyaránt. Számítása grafikusán:

$$\overline{LAD} = \frac{(L_{A1} + L_{A2})(t_2 - t_1)}{2} \text{ vagy } \overline{LAD} = \frac{(LAI_1 + LAI_2)(t_2 - t_1)}{2},$$

illetve integrálszámítással:

$$\overline{LAD} = \frac{(L_{A2} - L_{A1})(t_2 - t_1)}{\ln L_{A2} - \ln L_{A1}} \text{ vagy } \overline{LAD} = \frac{(LAI_2 - LAI_1)(t_2 - t_1)}{\ln LAI_2 - \ln LAI_1}.$$

Mértékegysége: cm² nap vagy m² nap.

Biomassza tartósság (BMD)

A biomassza tartósság (BMD) a növényenkénti összes száraztömeg időbeni dinamikáját leíró görbe alatti területet jelenti. A LAD-hoz hasonlóan a BMD nem csak azt veszi figyelembe, hogy mennyi száraztömeg képződik, hanem azt is, hogy az mennyi ideig marad fenn. A BMD ily módon a LAD száraztömegre vonatkozó ekvivalense (Berzsenyi, 2006). Kvet et al. (1969) a BMD-t a növényállomány vitalitását jellemző mutatóként írta le. A LAD-hoz hasonlóan nem pillanatnyi, hanem integrál mutató. Számítása grafikusán:

$$\overline{BMD} = \frac{(W_1 + W_2)(t_2 - t_1)}{2},$$

illetve integrálszámítással:

$$\overline{BMD} = \frac{(W_2 - W_1)(t_2 - t_1)}{\ln W_2 - \ln W_1}$$

Mértékegysége: g nap vagy g hét.

Harvest index (HI)

A Harvest index (HI) a szemtermés (hasznos produkció) aránya a növény összes föld feletti tömegéhez (biológiai hozam, biomassza-produkció) a betakarítás időpontjában (Donald, 1962). Számos kísérleti adat bizonyította, hogy a HI növelése a legtöbb kultúrnövény genetikai terméspotenciálját javította. A HI érzékeny a környezeti és agronómiai hatásokra, így többek között a tápanyag-ellátottságra is. Ugyanakkor a HI sokkal konstansabb mutatónak tekinthető - különösen kedvező körülmények között - mint a szemtermés vagy biomassza produkció (Berzsenyi, 2000b).

Számítása:

$$HI = \frac{\text{hasznos termés}}{\text{biológiai hozam}} 100$$

Mértékegysége: %.

4.4. A növekedésanalízis módszereinek alkalmazása

A klasszikus növekedésanalízis felhasználása

A minták száraztömeg és levélterület adataiból a Hunt et al. (2002) által kidolgozott modern növekedésanalízis program segítségével kiszámoltuk az RGR, NAR, LAR, LWR és SLA növekedési mutatókat. A program a kiválasztott időszakra vonatkozóan kiszámítja a növekedési mutatók átlagértékeit, valamint megadja a szórást (SE) és a 95%-os konfidencia intervallum értékét is. A program számítógépes felülete az *M3. sz. mellékletben* látható. A többi mutató (AGR, ALGR, CGR, LAI, LAD, BMD, HI) átlagértékének kiszámítását munkaképletek felhasználásával, Microsoft® Windows Excel (2003) program segítségével végeztük.

A funkcionális növekedésanalízis felhasználása

A száraztömeg és levélterület alapadatainak kiértékelését a funkcionális megközelítés során a Hunt-Parsons (1974) növekedésanalízis program (HP modell) alkalmazásával végeztük. A program „stepwise” regressziós módszer alapján az idő (X) függvényében első-, másod- vagy harmadfokú polinom függvényt illeszt a száraztömeg (Y) és levélterület (Z) adataihoz. A Hunt-Parsons növekedési program futtatási felületét az *M4. sz. mellékletben* mutatjuk be.

4.5. A kísérleti adatok biometriai értékelése

Varianciaanalízis

A kísérlet során valamennyi mérési és számítási adat statisztikai kiértékelését varianciaanalízissel, kéttényezős, osztott parcellás (split-plot) elrendezés alapján, MSTAT-C programcsomag felhasználásával végeztük. A főparcellákban a különböző N-kezelések (0, 80, 160 és 240 kg/ha), az alparcellákban pedig a különböző búzafajták (Mv Tobrozó, Mv Palotás és Mv Verbunkos) találhatók.

Az osztott parcellás elrendezésnél minden ismétlésben a tényezők változatainak összes kombinációja egyszer előfordul. Minden ismétlést az A tényező számával megegyező számú főparcellára osztjuk. Minden főparcellában a B tényező összes változata teljes ismétlésként megtalálható (Sváb, 1967).

Az osztott parcellás elrendezés statisztikai modellje:

(termés) = (főátlag) + (ismétlés-hatás) + (A tényező hatása) + (főparcella maradék) + (B tényező hatása) + (AB kölcsönhatás) + (alparcella maradék)

$$y_{hij} = \mu + B_lh + A_i + em_{hi} + B_j + (AB)_{ij} + e_{hij}$$

$$h = 1 \dots r; i = 1 \dots a; j = 1 \dots b$$

ahol μ : az összes kezelés átlagos reakciója; B_{h_i} : a h-adik blokk hatása; A_i : az A-kezelés i-edik szintjének átlagos hatása; B_j : a B-kezelés j-edik szintjének átlagos hatása; $(AB)_{ij}$: az A (i-edik szinten) és B (j-edik szinten) kezelés közötti interakció átlagos hatása; $e_{m_{h_i}}$: a főparcella hiba; $e_{h_{ij}}$: alparcella hiba (Berzsenyi, 2010).

4.6. Korrelációs és összefüggés vizsgálatok

4.6.1. Korrelációs vizsgálatok

A terméskomponensek, a növekedési mutatók és az egyes morfológiai paraméterek, valamint a termés közötti összefüggéseket parciális korrelációval vizsgáltuk. A parciális korreláció két változó közötti összefüggést jellemzi oly módon, hogy a két változó összefüggéséből a többi változó hatását kiiktatja (Sváb, 1967). Ezáltal realisabb képet kapunk a változók közötti összefüggésről. Korrelációs számításokkor két (egyenrangú) változó kapcsolatának mérését végzi el az r korrelációs koefficiens. A korrelációs koefficiens szignifikanciájának tesztjét a GenStat program végezte el a Student t-teszt alapján.

4.6.2. Regresszióanalízis

Ha a regressziós kapcsolatban csak egy függő és egy független változó van, akkor az összefüggés kétváltozós, ha egy függő és több független változó van, akkor többszörös vagy többváltozós a regressziós összefüggés. Két változó összefüggését a kétváltozós regressziós egyenlet, kettőnél több változó összefüggését a többszörös regressziós egyenlet adja meg.

Kétváltozós lineáris regresszióanalízis

Kétváltozós lineáris regresszióanalízissel vizsgáltuk a termés (függő változó) és egy-egy növekedési mutató (független változó) közötti összefüggést. A lineáris regresszióanalízis általános képlete: $Y = a + bx$, ahol „a” a regressziós állandó, „b” a regressziós koefficiens. A regressziós összefüggés szignifikanciáját a regresszió varianciaanalízisével (F-érték szignifikanciája) teszteltük. Meghatároztuk a determinációs koefficiens (r^2), amely megadja, hogy a függő változó varianciáját milyen mértékben (hány %-ban) tudtuk megmagyarázni a független változóval.

Két független változós regresszióanalízis

Két független változós regresszióanalízissel vizsgáltuk a termés és a terméskomponensek, valamint a növekedési sebességek (RGR, CGR) és komponenseik közötti összefüggést. Azt vizsgáljuk, hogy egy kvantitatív változó hogyan függ két másik kvantitatív változótól. Az előbbit függő változónak hívjuk és Y -nal jelöljük, az utóbbiakat független változóknak tekintjük és x_1 , x_2 -vel jelöljük. Az összefüggés egyenlete: $Y = a + b_1x_1 + b_2x_2$.

Az Y függő változó összefüggésének szorosságát az x_1 és x_2 független változók együttes hatásával a többszörös korrelációs koefficiens (R) fejezi ki. A b_1 és b_2 parciális regressziós koefficiensek. A többszörös determinációs koefficiens (R^2) százalékos formában mutatja, hogy a regresszióval az Y eltérésnégyzet összeg (SS_Y) mekkora hányadát értelmeztük. A két független változó hatásának relatív jelentőségét az Y változóra a két standardizált parciális regressziós koefficiens (path-koefficiens, β -érték) értékével jellemeztük.

Többszörös regresszióanalízis

Többszörös regresszióról beszélünk, ha egy Y változónak egynél több más változóval való regresszióját vizsgáljuk. Legegyszerűbb és leggyakrabban alkalmazott formája a többszörös lineáris regresszió, melynek egyenlete: $Y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k$, ahol „ a ” metszéspont az Y -tengelyen, „ b ” regressziós koefficiens, összefüggésben mindegyik x prediktív változóval. A regressziós koefficienseket (b_1, b_2, \dots, b_k) parciális regressziós koefficienseknek hívjuk és együttesen meghatározzák a regressziós egyenes meredekségét.

Amikor megkíséreljük feltárni az összefüggést egy reakció változó és több lehetséges prediktor (független) változó között, általában két kérdés merül fel: először, van-e szignifikáns és prediktív összefüggés a mért változó (Y) és a többi prediktív változó ($x_1, x_2, x_3 \dots x_k$) kombinációja között; és másodsor, ha van összefüggés, melyik prediktív változónak van a legnagyobb befolyása az Y -változó megfigyelt értékének meghatározásában.

Abból a célból, hogy identifikáljuk azokat a változókat, melyek legjobban meghatározzák a függő változó szintjét, a változók kiválasztásának stepwise módszerét alkalmaztuk. A változó-kiválasztás kritériumainak a következő mutatókat használtuk: R^2 (többszörös determinációs koefficiens), korrigált többszörös determinációs koefficiens (\bar{R}^2), C_p kritérium, Akaike információs kritérium (AIC). A három utóbbi meghatározásának módszere Afifi et al. (2004) alapján a következő:

A korrigált többszörös determinációs koefficiens (\bar{R}^2) összefügg az R^2 -tel a következő egyenlet szerint:

$$\bar{R}^2 = R^2 - \frac{P(1-R^2)}{N-P-1}$$

ahol P a független változók száma az egyenletben, N az adatok száma.

A C_p kritérium a következőképpen fejezhető ki:

$$C_p = (N-P-1) \left(\frac{\text{RMS}}{\hat{\sigma}^2} - 1 \right) + (P+1)$$

ahol RMS a maradék közepes négyzetes eltérés, a P kiválasztott változó alapján és $\hat{\sigma}^2$ az összes független változóból származtatott RMS.

Az Akaike információs kritérium (AIC) nagy adatszámnál megegyezik a C_p kritériummal. Az AIC kiszámításának formulája:

$$\text{AIC} = N \ln \frac{\text{RSS}}{N} + 2(P+1)$$

ahol RSS a maradék eltérésnégyzet összeg.

A változók kiválasztásánál a többszörös determinációs koefficiensek maximálása a kritérium; míg a C_p és AIC mutatóknak egy minimális értéke kívánatos. A regresszió a „változók alcsoportjával (subset regression)” módszer lehetővé teszi, hogy a fenti kritériumok alapján kiválasszuk a függő változó varianciájának megmagyarázásában a legjobb egyedüli változót, a két változó legjobb kombinációját, három változó legjobb kombinációját, stb. A program a legjobb egyedüli, stb. változón kívül egyben megadja a különböző alcsoportokra a többi változó, illetve változó kombináció értékeit is. A számításokhoz a GenStat „All-subset Regression” módszerét használtuk.

5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

5.1. A N-műtrágyázás és az évjárat hatása az őszi búzafajták növekedési jellemzőinek dinamikájára

5.1.1. A növényenkénti összes szárazanyag-produkció dinamikája

A mért értékek alapján

A három kísérleti év során hetente mértük a növények szárazanyag-produkcióját. A mért adatok alapján jól összehasonlítható a búzafajták szárazanyag-produkciójának növekedési dinamikája a különböző N-kezelésekben és az eltérő évjáratokban. Ez jól látható a 2. ábrán, mely a szárazanyag-produkció dinamikáját a február elejétől június közepéig terjedő időszakban szemlélteti.

A szárazanyag-produkció mindhárom évben a levélzet teljes elszáradásáig (június közepéig) nőtt. A N-műtrágyázásnak szignifikáns hatása volt a növényenkénti száraztömeg nagyságára a fejlődés korai szakaszától (4-5 leveles állapot) kezdődően, 2007-ben egy, 2008-ban két, 2009-ben négy mintavételi időpont kivételével, a tenyészidő végéig. A növényenkénti maximális száraztömeg az N₀ kezelésben volt a legkisebb (a vizsgált fajták és évek átlagában 2,97 g növény⁻¹), ennél szignifikánsan nagyobb volt az N₈₀ kezelésben (3,91 g növény⁻¹), és az N₁₆₀ és N₂₄₀ kezelésekben volt a legnagyobb (4,25 és 4,32 g növény⁻¹ közel azonos értékkel). A genotípusnak ugyancsak mindhárom évben szignifikáns hatása volt a szárazanyag-produkcióra a tenyészidőszak nagy részében (2007-ben és 2008-ban három-három, 2009-ben négy mintavételi időpont kivételével).

2. táblázat. A N-műtrágyázás hatása a búzafajták maximális növényenkénti száraztömegére a vizsgált években (g)

N-dózis	2007			2008			2009		
	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos
N ₀	3,78	3,37	3,85	2,66	2,62	3,08	2,16	2,62	2,59
N ₈₀	3,91	4,07	3,99	3,68	3,92	4,15	3,56	4,10	3,81
N ₁₆₀	4,20	4,38	4,14	3,85	4,25	4,54	4,12	4,39	4,36
N ₂₄₀	4,37	4,38	4,44	4,06	4,56	4,67	4,13	4,22	4,09
SZDN _{5%}		***			***			***	
SZDF _{5%}		NS			***			***	
SZDNxF _{5%}		*			*			*	

Szignifikancia szintek: *P=5%, ***P=0,1%, NS=nem szignifikáns

A fajták közül a legnagyobb szárazanyag termelést (az évek és N-kezelések átlagában) az Mv Verbunkos (3,98 g) érte el, ezt követte az Mv Palotás (3,91 g), majd az Mv Toborzó (3,71 g). A növényenkénti szárazanyag beépülés 2007-ben volt a legnagyobb (4,07 g), 2008-ban 3,84 g, 2009-ben pedig 3,68 g volt.

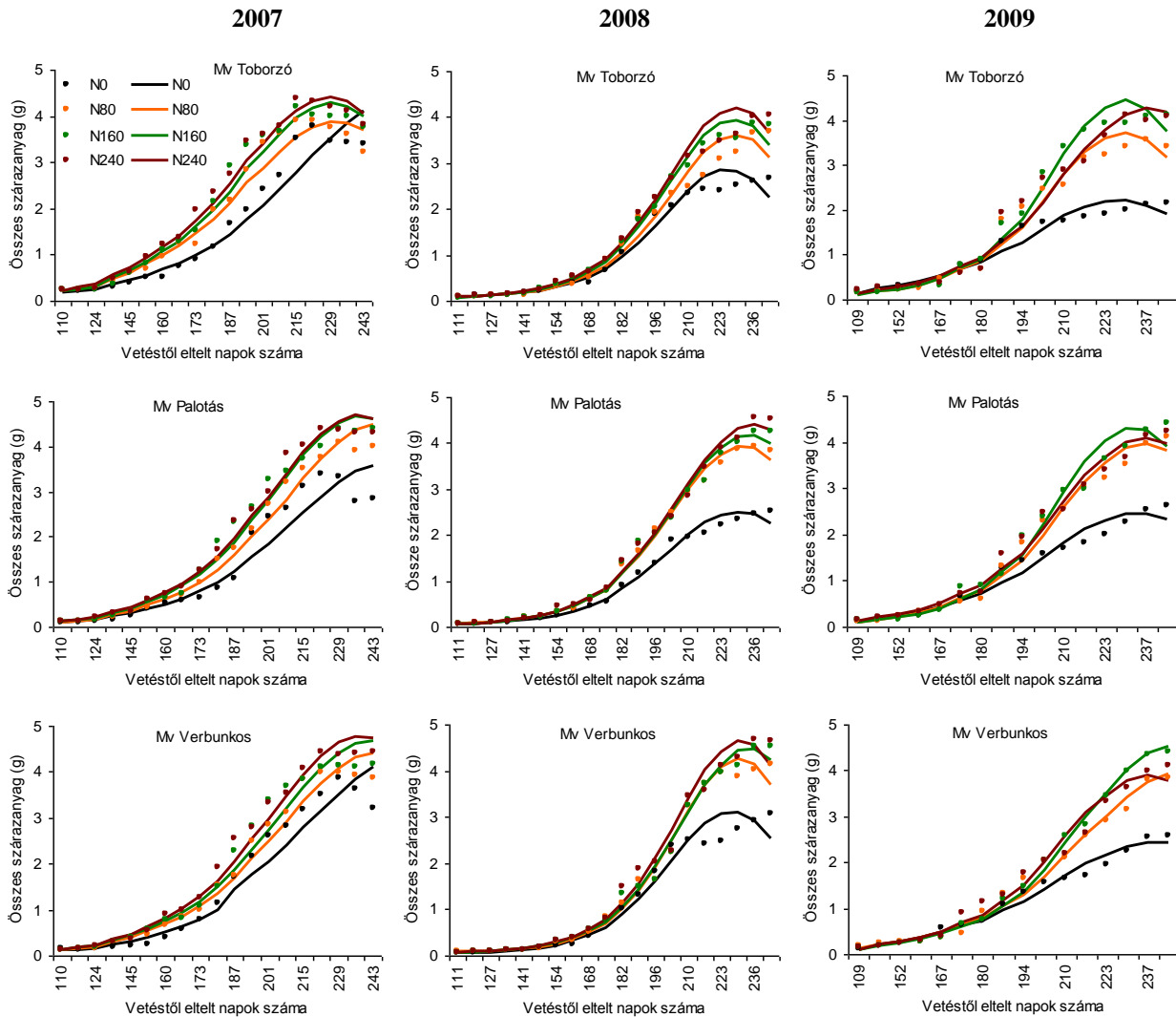
Hasonló N-reakcióról számoltak be D-olaszországi búza monokultúrás kísérletben, ahol a virágzáskor mért szárazanyag-termelés az N_{90} kezelésben majdnem kétszer akkora (4868 kg ha⁻¹) volt, mint az N_0 kezelésben (2876 kg ha⁻¹) (Basso et al., 2010).

A függvényillesztés alapján

A növekedésanalízis funkcionális módszerében a Hunt-Parsons program a szárazanyag felhalmozódását harmadfokú exponenciális függvénnyel jellemezte (2. ábra).

Kivétel volt az Mv Toborzó és az Mv Verbunkos szárazanyag felhalmozódása az N_0 kezelésben, 2007-ben, amelyhez a program másodfokú függvényt illesztett. A másodfokú függvényeket a mérési adatoknak megfelelő maximális értékig ábrázoltuk.

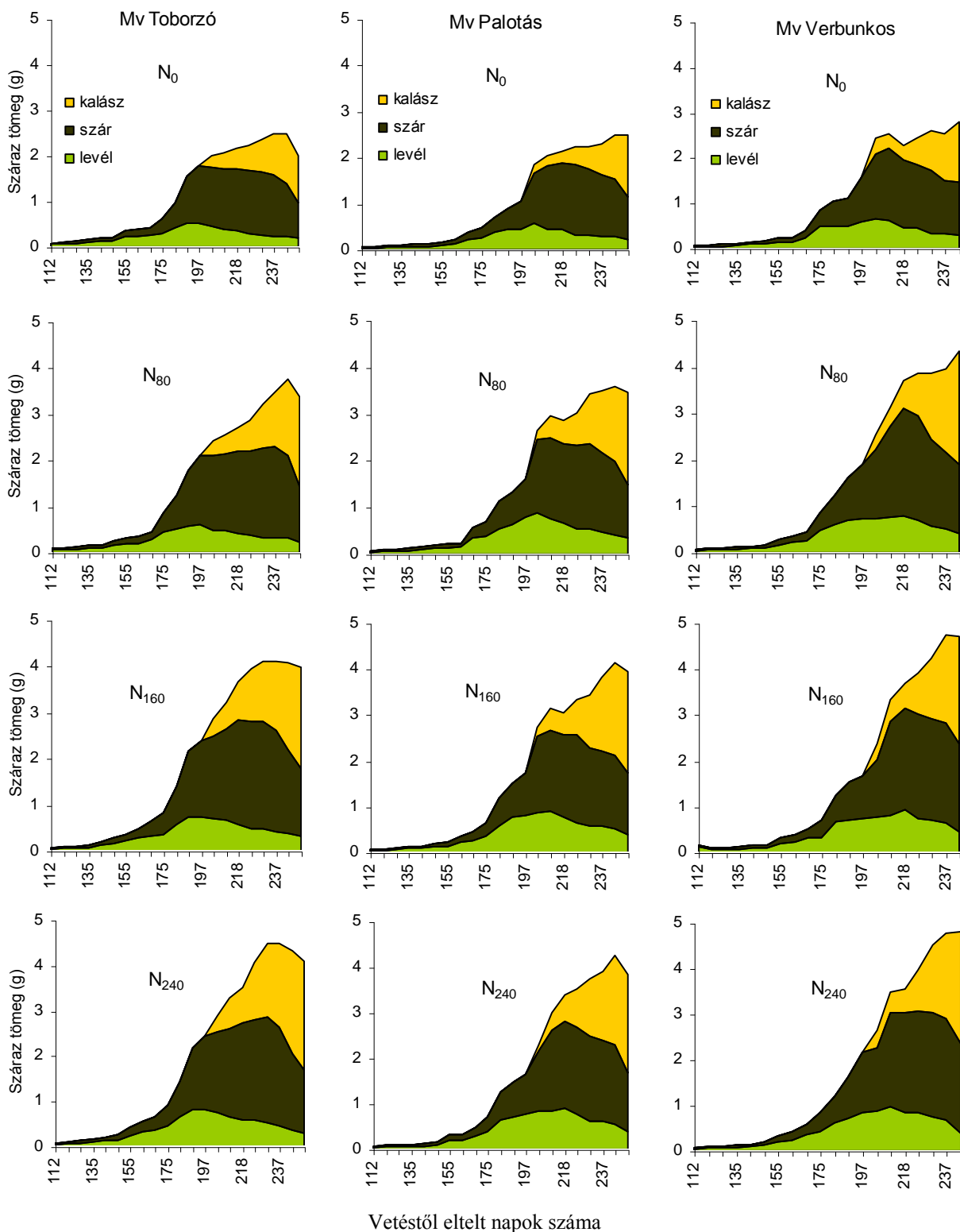
A függvények jól illeszkedtek a mérési adatokhoz ($R^2 = 94,7-99,3\%$), kiegyenlítették a dinamikákat, és lényeges eltérést nem adtak a mért adatokhoz képest. A szárazanyag-felhalmozódás dinamikája jól kifejezte a nitrogénkezelések hatását. A N-műtrágyázás hatására a szárazanyag-termelés 2007-ben és 2008-ban az N_{240} , 2009-ben az N_{160} kezelésig nőtt, jellemzően az N_0 és N_{80} kezelések különültek el legjobban. Maximális értéke a vizsgált fajták és évek átlagában az egyes N-kezelésekben a következő volt: $N_0=3,03$; $N_{80}=4,01$; $N_{160}=4,38$; $N_{240}=4,37$ g növény⁻¹. A maximális értéket mindhárom évben az Mv Verbunkos érte el, 2007-ben és 2008-ban 4,77 és 4,63 g értékkel az N_{240} kezelésben, 2009-ben 4,51 g növényenkénti szárazanyag-termeléssel az N_{160} kezelésben. A szárazanyag-termelés időbeni dinamikája jól mutatta a búzafajták eltérő érésiidejét. A dinamikát leíró függvény maximális értékét vetéstől számítva az Mv Toborzó fajtánál 228-231, az Mv Palotásnál 233-239, az Mv Verbunkosnál pedig 232-241 nappal érte el. A szárazanyag-termelés maximális értéke a vizsgált fajták és N-kezelések átlagában az aszályos 2007-es évben volt a legnagyobb (4,33 g növény⁻¹), 2008-ban 3,83 és 2009-ben 3,68 g növény⁻¹ volt.



2. ábra. A N-műtrágyázás hatása a búzafajták összes szárazanyag felhalmozódásának dinamikájára HP függvényillesztéssel 2007-2009-ben (a mért adatokat pontokkal jelöltük)

5.1.2. A növényi részek szárazanyag-termelésének dinamikája

A teljes növény szárazanyag-termelésének meghatározása mellett vizsgáltuk az asszimiláták növényen belüli megoszlását. A N-kezelés és a fajta hatását a szárazanyag termelés növényi részek (levél, szár, kalász) közötti megoszlásának dinamikájára 2008-ban a 3. ábra szemlélteti. Az egyes növényi részek jellegzetes növekedési dinamikákat mutattak. A vegetatív fejlődési szakaszban a levél és a szár növekedése volt a jellemző. A virágzást követően a kalász növekedése volt a meghatározó, ekkor a levelek és a szár növekedése lelassult, illetve csökkenő tendenciát mutatott. A szárazanyag növényen belüli megoszlása N-kezelésenként, fajtánként és évenként is eltérően alakult.



3. ábra. A N-műtrágyázás és a genotípus hatása a növényenkénti szárazanyag termelési részek közötti megoszlására 2008-ban

A levéltömeg maximális értékét közvetlenül kalászosítás előtt érte el. A maximális növényenkénti levéltömeget (0,94 g) az N₂₄₀ kezelésben kaptuk, sorrendben az N₁₆₀ (0,88 g), az N₈₀ (0,73 g) és az N₀ (0,53 g) kezelés következett. Az Mv Palotás és az Mv Verbunkos a N-kezelések és az évek átlagában nagyobb levéltömeget (0,81 és 0,80 g) fejlesztett, mint az Mv Toborzó (0,70 g). A növényenkénti levéltömeg átlagosan 2007-ben 0,90 g, 2008-ban 0,78 g, 2009-ben 0,64 g volt. A levelek részesedése a betakarításkori összes növényi száraztömegből 7-13% között változott, nagyságát a fajta és az évjárat határozta meg. A levéltömeg aránya a N-kezelések és az évek átlagában a következő volt: Mv Toborzó: 9%; Mv Palotás: 11%, Mv Verbunkos: 10%. A levéltömeg részaránya átlagosan az aszályos 2007-ben 11%, 2008-ban és 2009-ben 9, illetve 10% volt.

A szártömeg virágzás idejére (május közepe) érte el maximumát, és a 2008-as és 2009-es években június elejéig többé-kevésbé konstans volt. Az aszályos 2007-ben a szártömeg korábban, a maximális érték elérése után közvetlenül csökkenni kezdett, melyet a tartalék asszimilátáknak a kalász irányába való korábbi transzlokációja okozhatott. A növényenkénti maximális szártömeg az N₁₆₀ és N₂₄₀ kezeléseknél volt a legnagyobb (2,14 és 2,13 g), sorrendben az N₈₀ (2,05 g) és az N₀ (1,54 g) következett. A fajták szártömege közel azonos volt, az Mv Verbunkosnál 2,01 g, az Mv Toborzónál 1,97 g és az Mv Palotásnál 1,92 g. Az évek közül 2007-ben kaptuk a legnagyobb szártömeget (2,26 g), értéke 2008-ban 1,98 g 2009-ben 1,66 g volt. A szár részarányát a betakarításkori összes száraz növénytömegből a N-műtrágyázás és az évjárat befolyásolta. Értéke az N₀ kezelésben volt a legmagasabb 38%-kal, az N₈₀ és N₁₆₀ kezelésben 36%, és az N₂₄₀ kezelésben 35% volt. A szár aránya szintén az aszályos 2007-es évben volt a legnagyobb (38%), ettől kissé elmaradt 2008-ban (37%), és 2009-ben volt a legkisebb (34%).

Fontosságára tekintettel a növényenkénti maximális száraz kalásztömeg értékeit a 3. táblázatban részletesen összefoglaltuk. A N-műtrágyázásnak erős szignifikáns hatása volt a kalásztömegre mindhárom évben. A kalásztömeg az N₀ kezelésben volt a legkisebb (1,38 g), ennél nagyobb volt az N₈₀ kezelésben (2,06 g), és az N₁₆₀, illetve az N₂₄₀ kezelésben volt a legnagyobb (2,26 és 2,27 g). A fajtának 2007-ben és 2008-ban volt szignifikáns hatása. Az N-kezelések átlagában 2007-ben az Mv Palotás, 2008-ban az Mv Verbunkos kalásztömege (2,05g és 2,15 g) volt a legnagyobb. A kalász száraztömege kedvezőbb években nagyobb volt (1,99 és 2,05 g) az aszályos évhez képest (1,94 g). A kalásznak a betakarításkori összes növényi tömegből való részesedését elsősorban a N-kezelés és az évjárat határozta meg. Aránya az N₀

Eredmények és értékelésük

kezelésben kisebb volt (51%), mint a műtrágyázott kezelésekben (54-55%). Kedvezőbb évjáratokban a kalász aránya nagyobb volt (54 és 56%), mint aszályos évben (51%).

3. táblázat. A N-műtrágyázás hatása a búzafajták növényenkénti száraz kalásztömegére a vizsgált években (g)

N-dózis	2007			2008			2009		
	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos
N ₀	1,61	1,38	1,69	1,03	1,34	1,34	1,31	1,36	1,39
N ₈₀	1,73	2,24	1,94	1,94	1,98	2,45	1,91	2,19	2,16
N ₁₆₀	1,93	2,32	1,93	2,22	2,24	2,36	2,48	2,47	2,38
N ₂₄₀	2,11	2,25	2,13	2,37	2,12	2,46	2,31	2,41	2,25
SZDN _{5%}		***			***			***	
SZDF _{5%}		*			***			NS	
SZDNxF _{5%}		**			*			NS	

Szignifikancia szintek: *P=5%, **P=1%, ***P=0,1%, NS=nem szignifikáns

5.1.3. A növényenkénti levélterület növekedési dinamikája

A mért értékek alapján

A N-műtrágyázás és az évjárat hatását a búzafajták levélterületének dinamikájára a 4. ábra mutatja. A levélterület növekedésének dinamikáját a maximális érték eléréséig gyorsuló növekedés, majd a levélterület rövid fennmaradása után, a teljes leszáradásig fokozatos csökkenés jellemzi. A N-kezelésnek az 5-10 leveles állapottól kezdve a tenyészidő nagy részében szignifikáns hatása volt a levélterület nagyságára. A levélterület maximális értékét közvetlenül kalászosítás előtt érte el. A növényenként kifejlődött levélterület maximális értéke (4. táblázat) a vizsgált fajták és évek átlagában az N₂₄₀ kezelésben volt a legnagyobb (186,10 cm²), sorrendben az N₁₆₀ (170,58 cm²), az N₈₀ (146,07 cm²) és az N₀ (87,60 cm²) kezelés következett.

4. táblázat. A N-műtrágyázás hatása a búzafajták maximális növényenkénti levélterületére a vizsgált években (cm²)

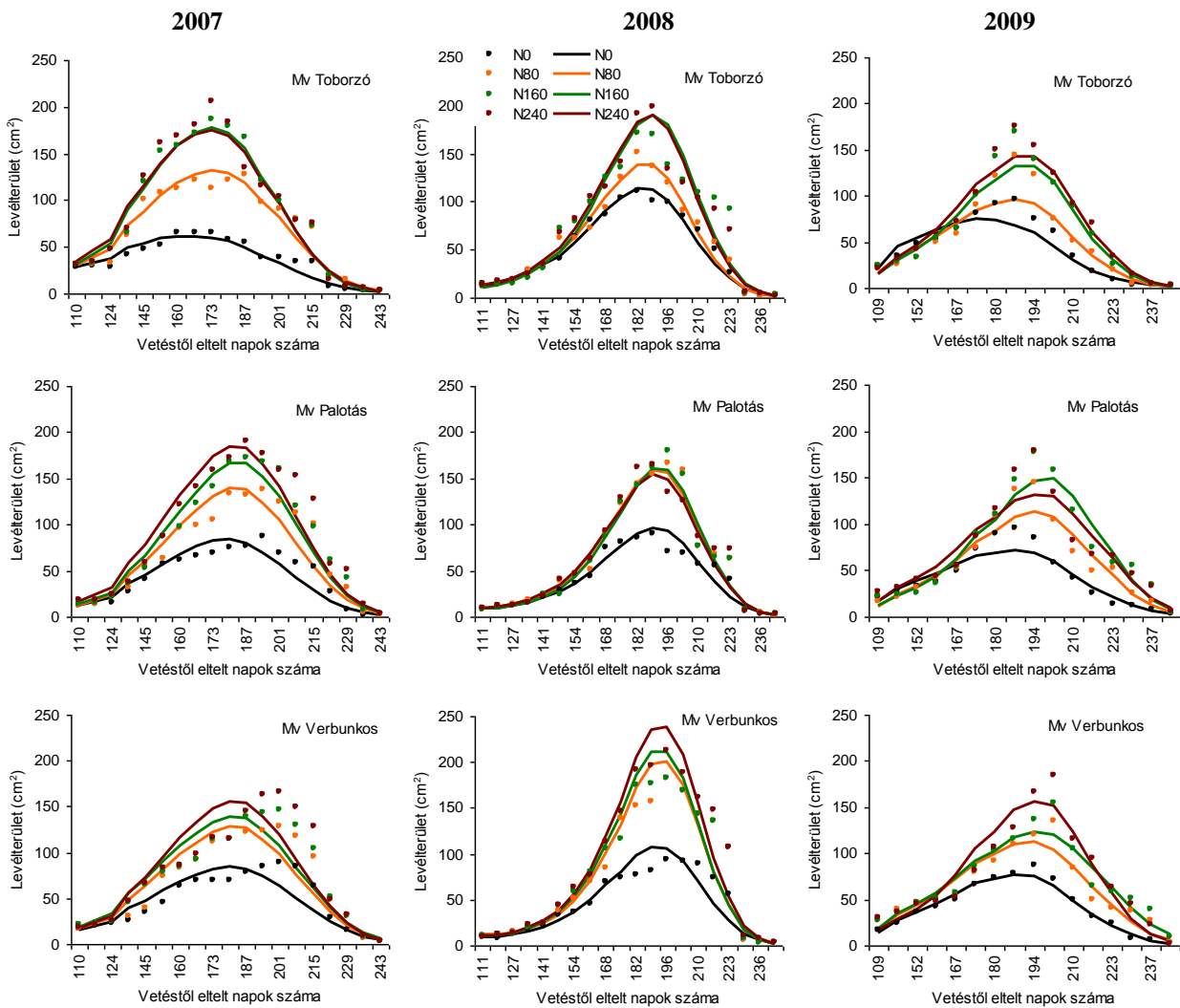
N-dózis	2007			2008			2009		
	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos
N ₀	65,5	86,9	89,5	85,1	90,5	93,2	95,2	95,9	86,6
N ₈₀	127,6	137,0	128,3	151,4	166,33	181,61	143,28	143,78	135,25
N ₁₆₀	185,9	171,7	146,0	170,5	179,1	181,6	168,7	177,5	154,3
N ₂₄₀	206,1	190,7	165,1	199,0	165,2	211,8	174,6	178,0	184,5
SZDN _{5%}		***			***			**	
SZDF _{5%}		*			**			NS	
SZDNxF _{5%}		**			*			NS	

Szignifikancia szintek: *P=5%, ***P=0,1%, NS=nem szignifikáns

A fajtának a kezdeti fejlődéstől kezdve szignifikáns hatása volt a levélfelület nagyságára. A maximális értéket 2007-ben az Mv Toborzó (206,11 cm²), 2008-ban és 2009-ben az Mv Verbunkos érte el (211,75 és 184,50 cm²). A növényenkénti levélfelület maximális értéke (az N-kezelések és a fajták átlagában) 2008-ban volt a legnagyobb (158,36 cm²), 2007-ben és 2009-ben közel hasonlóan alakult (141,67 és 144,80 cm²).

A függvényillesztés alapján

A HP program a levélfelület növekedési dinamikáját harmadfokú exponenciális függvénnyel jellemezte (4. ábra). A függvények jól illeszkedtek a mérési adatokhoz ($R^2 = 79,4\%$).



4. ábra. A N-műtrágyázás hatása a búzafajták növényenkénti levélfelületének dinamikájára függvényillesztéssel 2007-2009-ben (a mért adatokat pontokkal jelöltük)

A függvényillesztéssel kapott maximális értékek elmaradtak a mért maximumoktól, a kezelések hatását azonban jól mutatták. A növényenkénti levélterület maximális értékeit az N₁₆₀ és az N₂₄₀ kezelésekben kaptuk. A levélterületet leíró függvények maximális értéke az egyes N-műtrágya szinteken az évek és a fajták átlagában a következőképpen alakultak (cm² növény⁻¹): N₀= 84,78; N₈₀=134,93; N₁₆₀= 160,74; N₂₄₀= 169,53. A mért értékekhez hasonlóan a levélterület közvetlenül kalászosítás előtt volt a legnagyobb, 2007-ben valamivel korábban érte el maximumát (április második felében), mint 2008-ban és 2009-ben (május elején). A levélterület dinamikája jól mutatta a fajták különböző érésidejét. A maximumot évjáráttól és N-kezeléstől függően, vetéstől számítva az Mv Toborzó 173-187, az Mv Palotás 180-194, az Mv Verbunkos 187-194 nappal érte el. A függvényillesztés alapján a maximális levélterületet (237,5 cm²) az Mv Verbunkos az N₂₄₀ kezelésben 2008-ban érte el. Az évek és az N-kezelések átlagában is ez a fajta mutatta a legmagasabb levélterület értéket (144,04 cm²), mely az Mv Toborzónál 134,88, az Mv Palotásnál pedig 133,83 cm² volt. A funkcionális módszerrel számított növényenkénti maximális levélterület a fajták és az N-kezelések átlagában 2009-ben (114,48 cm²) lényegesen elmaradt a másik két évben kifejlődött levélterülettől, mely 2007-ben 135,40 cm², 2008-ban pedig 154,52 cm² volt.

5.1.4. A N-műtrágyázás hatása az őszi búzafajták zászlóslevél-területére, klorofill tartalmára és növénymagasságára

A N-műtrágyázás hatása az őszi búzafajták zászlóslevél-területére

A búzafajták zászlóslevél levélterület értékeit a különböző N-kezelésekben, 2007-2009 években az 5. táblázat szemlélteti. Az évjárat jelentős hatással volt a zászlóslevél területére, mely az N-kezelések és a fajták átlagában 2008-ban jelentősen meghaladta (28,6 cm²) a 2007. és 2009. évi átlagértékeket (16,4 és 18,0 cm²). A N-műtrágyázásnak szintén szignifikáns hatása volt a búzafajták zászlóslevél területére, értéke a fajták és az évek átlagában az N₀ kezelésben volt a legkisebb (16,1 cm²), ennél szignifikánsan magasabb volt az N₈₀ kezelésben (19,7 cm²), és az N₁₆₀ és N₂₄₀ kezelésekben volt a legnagyobb (23,9 és 24,3 cm²). A fajtának 2007-ben és 2008-ban szignifikáns hatása volt a zászlóslevél területének nagyságára, mely átlagosan az Mv Verbunkos fajtánál volt a legnagyobb (21,7 cm²).

A regresszióanalízis alapján összefüggés volt a zászlóslevél területe és a termés között. A zászlóslevél levélterülete (P=0,1%-os szinten) 43,8%-ban határozta meg a termés varianciáját.

Az összefüggés erőssége N-kezelésenként és évenként eltérő volt. Az N_0 és az N_{160} kezelésben az összefüggés nem volt szignifikáns. A zászlóslevél területe az N_{80} kezelésben ($P=0,1\%$ -os szinten) 75,4%-ban, az N_{240} kezelésben ($P=5\%$ -os szinten) 38,2 %-ban értelmezte a termés varianciáját. A zászlóslevél területe 2007-ben ($P=0,1\%$ -os szinten) 62,5%-ban, míg kedvező években ($P=5\%$ -os szinten) 32,7 és 32,2%-ban magyarázta meg a termés változását.

5. táblázat. A N-műtrágyázás hatása a búzafajták zászlóslevél területére a vizsgálati években (cm^2)

N-szint	2007			2008			2009		
	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos
N_0	14,0	13,4	15,8	17,3	18,1	23,6	14,9	13,7	14,0
N_{80}	16,6	14,7	16,6	23,8	25,8	29,0	17,5	16,9	16,3
N_{160}	20,7	17,4	16,4	33,1	35,1	35,8	17,2	21,7	18,0
N_{240}	17,5	16,7	16,6	33,3	33,5	34,9	21,7	20,8	23,6
Szignifikancia szintek (F-értékre)									
N		*			***			***	
F		**			***			NS	
NxF		**			NS			**	

Szignifikancia szintek: * $P=5\%$, ** $P=1\%$, *** $P=0,1\%$, NS=nem szignifikáns

A N-műtrágyázás hatása az őszi búzafajták klorofill tartalmára

A zászlóslevél klorofill tartalmát az ún. SPAD értékekkel határoztuk meg a virágzás időszakában. A N-kezelések hatását a búzafajták klorofill tartalmára 2007-2009-ben a 6. táblázat mutatja be.

A zászlóslevél klorofill tartalma a N-kezelés hatására szignifikánsan különbözött mindhárom kísérleti évben. A klorofill tartalom a fajták és az évek átlagában az N_0 kezelésben volt a legkisebb (45,07). Értéke szignifikánsan nőtt 2007-ben az N_{80} kezelésig (54,17), 2008-ban és 2009-ben pedig az N_{160} kezelésig (53,82 és 53,77). A fajthatás szintén szignifikáns volt mindegyik vizsgált évben. Az N-kezelések és az évek átlagában a legmagasabb értéket az Mv Verbunkosnál mértük (52,79), ennél kisebb volt az Mv Palotás (51,55) és Mv Toborzó (50,67) SPAD-értéke. Az N-kezelések és a fajták átlagában a SPAD érték 2007-ben 52,92; 2008-ban 50,97; 2009-ben 51,11 volt.

A regresszióanalízis vizsgálatok alapján a zászlóslevél klorofilltartalmát kifejező SPAD érték az aszályos 2007. évben ($P = 0,1\%$ –os szinten) 92,4 %-ban, a kedvező 2008-as és 2009-es években ($P = 1\%$ -os szinten) 60,5 % és 61,5 %-ban értelmezte a termés variabilitását.

Eredmények és értékelésük

6. táblázat. A N-műtrágyázás hatása a búzafajták zászlóslevelének klorofill tartalmára (SPAD érték) 2007-2009-ben

N-dózis	2007			2008			2009		
	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos
N ₀	43,45	45,08	45,28	45,80	45,85	46,85	46,68	42,83	43,77
N ₈₀	51,78	54,63	56,10	48,90	49,45	50,53	51,08	49,95	53,10
N ₁₆₀	53,58	57,10	57,60	52,08	54,25	55,13	53,57	52,83	54,90
N ₂₄₀	54,00	58,25	58,23	52,90	54,53	55,35	54,23	53,80	56,63
Szigifikancia szintek (F-értékre)									
SZDN _{5%}		***			***			***	
SZDF _{5%}		***			***			***	
SZDNxF _{5%}		NS			NS			*	

Szigifikancia szintek: *P=5%, ***P=0,1%, NS=nem szignifikáns

A N-műtrágyázás hatása az őszi búzafajták növénymagasságára

A növénymagasság genetikailag meghatározott fajtulajdonság, melyre mindhárom évben a N-műtrágyázás is hatással volt (7. táblázat). A vizsgált fajták közül az Mv Toborzó növénymagassága mindhárom évben szignifikánsan a legnagyobb volt. A növénymagasság az N₀ kezelésben volt a legkisebb, és a fajták átlagában 2007-ben az N₈₀, 2008-ban és 2009-ben pedig az N₁₆₀ kezelésig szignifikánsan nőtt. Az N-kezelések és a fajták átlagában a növénymagasság 2008-ban volt a legnagyobb (89,90 cm), 2007-ben 85,12 cm, 2009-ben 79,50 cm volt. A N-kezelés és a fajta között 2008-ban kölcsönhatás volt.

7. táblázat. A N-műtrágyázás hatása a búzafajták növénymagasságára a vizsgált években (cm)

N-dózis	2007			2008			2009		
	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos
N ₀	81,08	75,48	84,25	92,85	77,00	82,48	80,00	72,50	76,25
N ₈₀	91,13	82,45	82,03	97,25	84,13	86,60	86,25	73,75	77,50
N ₁₆₀	96,93	84,68	84,15	99,88	87,25	90,13	87,50	75,00	80,00
N ₂₄₀	91,50	81,08	86,73	100,18	92,43	88,65	86,75	76,75	81,75
SZDN _{5%}		*			***			*	
SZDF _{5%}		**			***			***	
SZDNxF _{5%}		NS			*			NS	

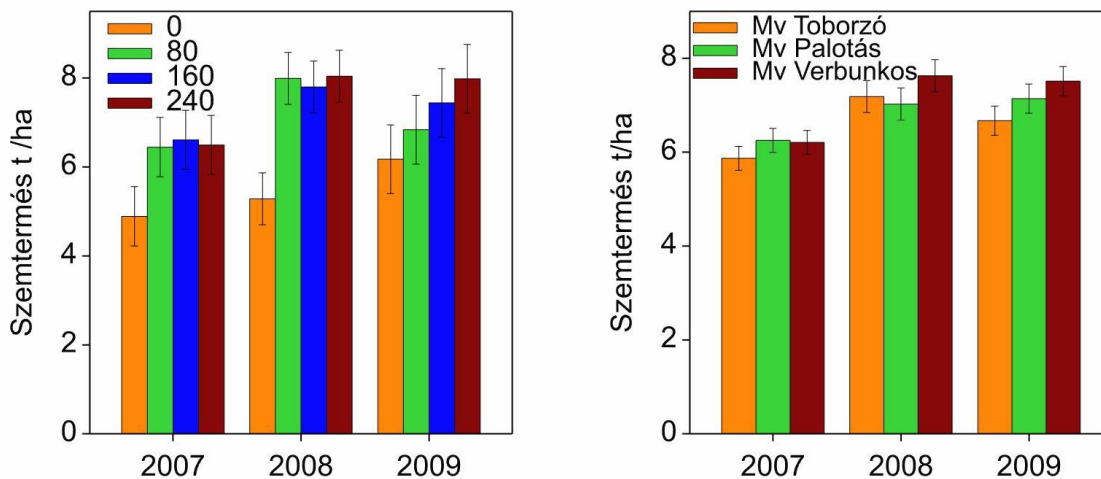
Szigifikancia szintek: *P=5%, **P=1%, ***P=0,1%, NS=nem szignifikáns

5.2. A N-műtrágyázás hatása az őszi búzafajták szemtermésére, termékkomponenseire és beltartalmi tulajdonságaira

5.2.1. A N-műtrágyázás hatása az őszi búzafajták szemtermésére

Az évenkénti szemtermést ($t\ ha^{-1}$) a fajták és a N-kezelések átlagában az 5. ábrán mutatjuk be. A szemtermés adatokat a parcellánként betakarított termésből számoltuk ki. Mivel a két tényező között egyik évben sem volt szignifikáns kölcsönhatás, így a szemtermésre gyakorolt főhatásuk külön-külön jól értelmezhető. A szemtermés varianciaanalízis eredményét a 8. táblázat tartalmazza.

A N-kezelésnek mindhárom évben szignifikáns hatása volt a szemtermésre, mely a fajták átlagában mindegyik évben az N_0 kezelésben volt a legkisebb (2007-ben 4,89, 2008-ban 5,28, 2009-ben 6,17 $t\ ha^{-1}$). 2007-ben és 2008-ban a termés szignifikánsan nőtt az N_{80} kezelésben (6,45 és 7,99 $t\ ha^{-1}$), az N_{160} és N_{240} kezelések nem mutattak további növekedést. A szemtermés 2009-ben az N_0 kezelés és az N_{160} kezelés (7,44 $t\ ha^{-1}$) között nőtt szignifikáns mértékben, az N_{160} és N_{240} kezelés között szignifikáns különbség nem volt.



5. ábra. A N-műtrágyázás és a genotípus hatása a búza szemtermésére N-kezelésenként és fajtánként, a három vizsgálati évben (az oszlopokon a függőleges vonalak az $SzD_{5\%}$ -ot jelölik)

A fajtának szintén mindegyik évben szignifikáns hatása volt a termésre. 2007-ben az Mv Palotás és az Mv Verbunkos termése ($6,25$ és $6,21\ ha^{-1}$) meghaladta az Mv Toborzó termését ($5,87\ ha^{-1}$), 2008-ban és 2009-ben a fajták közül az Mv Verbunkos érte el a legnagyobb terméshozamot ($7,63$ és $7,51\ ha^{-1}$). A szemtermésre az évjárat is hatással volt. A vizsgált évek

közül a termés a N-kezelések és a fajták átlagában, 2008-ban és 2009-ben (7,28 és 7,11) szignifikáns mértékben meghaladta a 2007-es év termését (6,11).

8. táblázat. A terméseredmények varianciatáblázata

Tényező	d.f.	2007		2008		2009	
		MQ	F-érték	MQ	F-érték	MQ	F-érték
Ismétlés	3	4,1269	7,90	0,4331	1,08	1,2185	1,74
N-kezelés	3	7,9836	15.28***	21,4013	53.59***	7,2848	10.39**
Hiba	9	0,5225	4,28	0,3993	1,82	0,7009	3,87
Fajta	2	0,6941	5.68**	1,5543	7.06**	2,8560	15.78***
N-kezelés x Fajta	6	0,1252	1.03 ^{NS}	0,1691	0.77 ^{NS}	0,2666	1.47 ^{NS}
Hiba	24	0,1221		0,2200		0,1810	
Összes	47						

Szignifikancia szintek: **P=1%, ***P=0,1%, NS=nem szignifikáns

5.2.2. A N-műtrágyázás hatása a terméskomponensek (négyzetméterenkénti kalászsám, kalásonkénti szemszám és ezerszemtömeg) alakulására

A nitrogén műtrágyázás és a fajta jelentős hatással volt a négyzetméterenkénti kalászsám, a kalásonkénti szemszám, valamint az ezerszemtömeg alakulására. A műtrágyakezelések hatását a búzafajták terméskomponenseire 2007-2009 években a 9. táblázat szemlélteti.

A négyzetméterenkénti kalászsámra a N-műtrágyázásnak mindhárom évben szignifikáns hatása volt. Értéke az egyes N-kezelésekben (az évek és a fajták átlagában): N₀: 524,3; N₈₀: 592,0; N₁₆₀: 664,9 és N₂₄₀: 684,1 kalász m⁻² volt. A fajta 2007-ben és 2008-ban volt szignifikáns hatással a kalászsámra. Értéke (kalász m⁻²) az évek és N-kezelések átlagában az Mv Toborzónál 639,3, az Mv Palotásnál 606,6, az Mv Verbunkosnál 603, 1 volt. A négyzetméterenkénti kalászsám (kalász m⁻²) az aszályos 2007-es évben lényegesen nagyobb volt (692,4), mint 2008-ban és 2009-ben (596,1 és 560,5 kalász m⁻²). Az enyhe téli és kora tavaszi időjárás kedvezett az állomány vegetatív fejlődésének és a kalászképződésnek, a tavasszal beköszönő aszály hatására azonban, az irodalmi adatokkal megegyezően, a kalászokban jóval kevesebb szem fejlődött. Jamieson et al. (1995) alapján a virágzás idején ható szárazság csökkenti a szemkötést, ezáltal a kalásonkénti szemek számát, amely a búza termésmennyiségét meghatározó egyik legfontosabb tényező.

A kalászonkénti szemszám a N-kezelés hatására 2008-ban és 2009-ben különbözött. Átlagos értéke az egyes N-kezelésekben (szem kalász⁻¹): N₀: 16,7; N₈₀: 28,3; N₁₆₀: 31,7 és N₂₄₀: 31,9. A fajta hatása mindegyik évben szignifikáns volt a kalászonkénti szemek számára. Mindhárom évben és minden N-kezelésben az Mv Verbunkos szemszáma volt a legnagyobb. A fajták átlagértéke (az N-kezelések és az évek átlagában) az Mv Verbunkosnál 31,58, az Mv Palotásnál 28,20 és az Mv Toborzónál 21,65 szem kalász⁻¹. A kalászonkénti szemszám alakulásában jelentős évjáráthatást figyelhettünk meg. A szemszám a N-kezelések és a fajták átlagában 2008-ban és 2009-ben mintegy háromszor akkora volt (35,5 és 33,3 szem kalász⁻¹), mint 2007-ben (12,6). Az N-kezelés és a fajta között szignifikáns kölcsönhatás volt 2007-ben és 2009-ben.

9. táblázat. A N-műtrágyázás hatása a búza genotípusok terméskomponenseire 2007-2009-ben

N-dózis	2007			2008			2009		
	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos
Kalász m ⁻²									
N ₀	655,7	620,4	639,1	493,9	512,5	487,6	469,0	415,0	425,4
N ₈₀	684,8	674,4	644,1	583,1	614,2	527,1	520,8	535,4	543,7
N ₁₆₀	744,9	703,4	693,1	688,9	570,6	715,9	610,1	697,2	560,3
N ₂₄₀	823,8	699,3	726,3	753,2	612,1	593,5	643,3	624,6	680,6
Szignifikancia szintek (F-értékre)									
N		***			***			***	
F		*			**			NS	
NxF		**			***			*	
Kalászonkénti szemek száma (szem kalász ⁻¹)									
N ₀	10,7	12,4	13,0	14,6	20,6	22,3	14,2	21,2	21,2
N ₈₀	8,7	14,8	15,0	28,1	39,3	46,1	28,5	36,9	37,3
N ₁₆₀	8,5	14,4	14,8	34,7	46,3	48,9	32,9	38,6	46,2
N ₂₄₀	8,2	14,5	16,5	32,3	41,7	50,6	38,4	37,7	47,0
Szignifikancia szintek (F-értékre)									
N		NS			***			***	
F		***			***			***	
NxF		*			NS			*	
Ezerszemtömeg (g)									
N ₀	56,2	44,9	46,1	53,1	42,3	40,0	54,7	45,1	41,5
N ₈₀	54,8	44,3	43,5	54,6	42,8	42,1	53,1	45,3	40,7
N ₁₆₀	53,1	47,2	45,8	50,1	38,8	39,4	49,6	41,2	38,3
N ₂₄₀	52,2	43,9	40,9	50,2	37,4	37,3	48,8	39,6	38,3
Szignifikancia szintek (F-értékre)									
N		**			***			**	
F		***			***			***	
NxF		NS			NS			NS	

Szignifikancia szintek: *P=5%, **P=1%, ***P=0,1%, NS=nem szignifikáns

Eredmények és értékelésük

Az ezerszemtömeg (g) alakulására az N-kezelésnek és a fajtának mindhárom évben szignifikáns hatása volt. Az ezerszemtömeg a növekvő N-dózisokkal csökkent, (a fajták és az évek átlagában) az N₀ kezelésben 47,1 g, az N₈₀ kezelésben 46,8, N₁₆₀ kezelésben 44,8, az N₂₄₀ kezelésben 43,2 volt. Delogu et al. (1998) búzakísérletében az ezerszemtömeg szintén a legnagyobb N-dózisnál (210 kg ha⁻¹) volt a legkisebb (36 g). Az ezerszemtömeg alakulására legnagyobb hatása a fajtának volt. Az Mv Toborzó ezerszemtömege volt a legnagyobb (52,54 g), ezt követte az Mv Palotás (42,7 g), majd az Mv Verbunkos (41,16 g). Az ezerszemtömeg a száraz 2007-es évben nagyobb volt (47,7 g), mint 2008-ban és 2009-ben (44,01 és 44,68 g). A N-kezelés és a fajták között egyik évben sem volt kölcsönhatás.

5.2.3. A N-műtrágyázás hatása az őszi búzafajták beltartalmi tulajdonságaira**5.2.3.1. A szemtermés fehérjetartalma**

A nitrogén műtrágyázás mindegyik vizsgált évben hatással volt a szemek fehérjetartalmára (10. táblázat). A fehérjetartalom az N₀ kezelésben volt a legkisebb (az évek és a fajták átlagában 11,9%), és szignifikáns mértékben növekedett 2007-ben és 2008-ban az N₁₆₀ (15,4 és 13,2%), 2009-ben pedig az N₈₀ kezelésig (13,5%). A fajták között 2007-ben nem volt eltérés. 2008-ban és 2009-ben a fehérjetartalom az Mv Toborzónál volt a legkisebb (12,3 és 13,3%). Az Mv Palotás fehérjetartalma 2008-ban megegyezett az Mv Verbunkoséval (12,9%), 2009-ben pedig az Mv Verbunkos fehérjetartalma volt a legnagyobb (14,0%).

10. táblázat. A N-műtrágyázás hatása a búzafajták fehérjetartalmára 2007-2009-ben (%)

N-dózis	2007			2008			2009		
	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos
N ₀	11,6	12,5	12,2	10,8	11,5	11,4	12,0	12,1	12,9
N ₈₀	13,9	14,0	13,6	12,5	12,6	12,4	13,6	13,0	13,9
N ₁₆₀	15,3	15,4	15,4	12,9	13,6	13,2	13,6	14,0	14,3
N ₂₄₀	15,6	15,5	16,3	13,0	13,8	14,4	13,8	14,2	14,8
Szignifikancia szintek (F-értékre)									
N		***			***			**	
F		NS			**			**	
NxF		NS			NS			NS	

Szignifikancia szintek: **P=1%, ***P=0,1%, NS=nem szignifikáns

A N-kezelések és a fajták átlagában a fehérjetartalom (csökkenő sorrendben) 2007-ben 14,28%, 2009-ben 13,52%, 2008-ban 12,68% volt.

5.2.3.2. A szemtermés sikértartalma

A sikértartalom a különböző N-kezelésekben szignifikáns mértékben különbözött mindhárom évben (11. táblázat). A szemek sikértartalma (%) az N₀ kezelésben volt a legkisebb (az évek és a fajták átlagában 25,44%), értéke 2007-ben és 2008-ban az N₁₆₀ kezelésig (35,2 és 30,8%), 2009-ben az N₈₀ kezelésig nőtt (29,7%). 2007-ben a sikértartalom alakulásában fajtahatás nem volt. 2008-ban az Mv Palotás és Mv Verbunkos sikértartalma (29,6 és 29,5%) szignifikáns mértékben meghaladta az Mv Toborzó sikértartalmát (27,9%), 2009-ben pedig az Mv Verbunkos sikértartalma (31,2%) mindkét fajta értékét felülmúlta. A N-kezelések és a fajták átlagában a sikértartalom 2007-ben 32,1%, 2009-ben 29,8%, 2008-ban 29,0% volt.

11. táblázat. A N-műtrágyázás hatása a búzafajták nedvessikér tartalmára 2007-2009-ben (%)

N-dózis	2007			2008			2009		
	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos
N ₀	24,0	26,2	25,5	23,7	25,7	25,4	24,8	25,8	27,9
N ₈₀	31,1	31,0	29,7	28,7	29,0	28,6	30,0	28,2	30,9
N ₁₆₀	35,4	35,5	36,1	30,0	31,8	30,7	30,0	31,2	32,2
N ₂₄₀	36,1	36,1	38,6	29,2	31,8	33,4	30,5	32,0	33,8
Szigifikancia szintek (F-értékre)									
N		***			***			**	
F		NS			***			***	
NxF		*			NS			NS	

Szigifikancia szintek: *P=5%, **P=1%, ***P=0,1%, NS=nem szignifikáns

5.3. A N-műtrágyázás hatása a búzafajták növényegyed növekedési mutatóira

5.3.1. Az összes szárazanyag abszolút növekedési sebessége (AGR)

A növekedésanalízis klasszikus módszere alapján

A szárazanyag abszolút növekedési sebességének (AGR) dinamikája nagy ingadozást mutatott, ezért átlagoltuk a virágzásig számított értékeket (12. táblázat).

A N-műtrágyázásnak erős szignifikáns hatása volt az átlagos növényenkénti AGR értékekre (g nap⁻¹ 10⁻²). Az AGR_{átl} az N₀ kezelésben volt a legkisebb, értéke 2007-ben és 2009-ben az N₁₆₀ kezelésig, 2008-ban az N₂₄₀ kezelésig nőtt. A fajtának 2008-ban és 2009-ben volt szignifikáns hatása az átlagos AGR értékekre. 2008-ban az Mv Verbunkos AGR átlagértéke (3,13) a N-kezelések átlagában meghaladta a másik két fajta átlagértékét (Mv Toborzó: 2,70, Mv Palotás: 2,73), 2009-ben az Mv Toborzó és Mv Palotás átlagos AGR-je (2,99, ill. 2,83)

Eredmények és értékelésük

magasabb volt az Mv Verbunkos átlagértékénél (2,55). Az AGR átlagértéke az N-kezelések és fajták átlagában 2008-ban és 2009-ben (2,86 és 2,79) nagyobb volt, mint 2007-ben (2,56). A N-kezelés és a fajta között mindhárom évben kölcsönhatás volt.

12. táblázat A növényenkénti szárazanyag abszolút növekedési sebességének (AGR) átlagértékei a virágzásig eltelt időszakban a növekedésanalízis klasszikus módszerével ($\text{g nap}^{-1} 10^{-2}$)

N-dózis	2007			2008			2009		
	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos
N ₀	1,95	1,99	2,22	2,29	1,87	2,28	1,95	1,90	1,88
N ₈₀	2,80	2,52	2,32	2,49	2,93	3,49	2,90	3,01	2,63
N ₁₆₀	2,85	2,70	2,84	2,92	2,92	3,45	3,88	3,57	2,96
N ₂₄₀	2,81	2,99	2,78	3,11	3,22	3,29	3,24	2,83	2,70
Szignifikancia szintek (F-értékre)									
N		***			***			***	
F		NS			***			***	
NxF		*			***			*	

Szignifikancia szintek: *P=5%, ***P=0,1%, NS=nem szignifikáns

A növekedésanalízis funkcionális módszere alapján

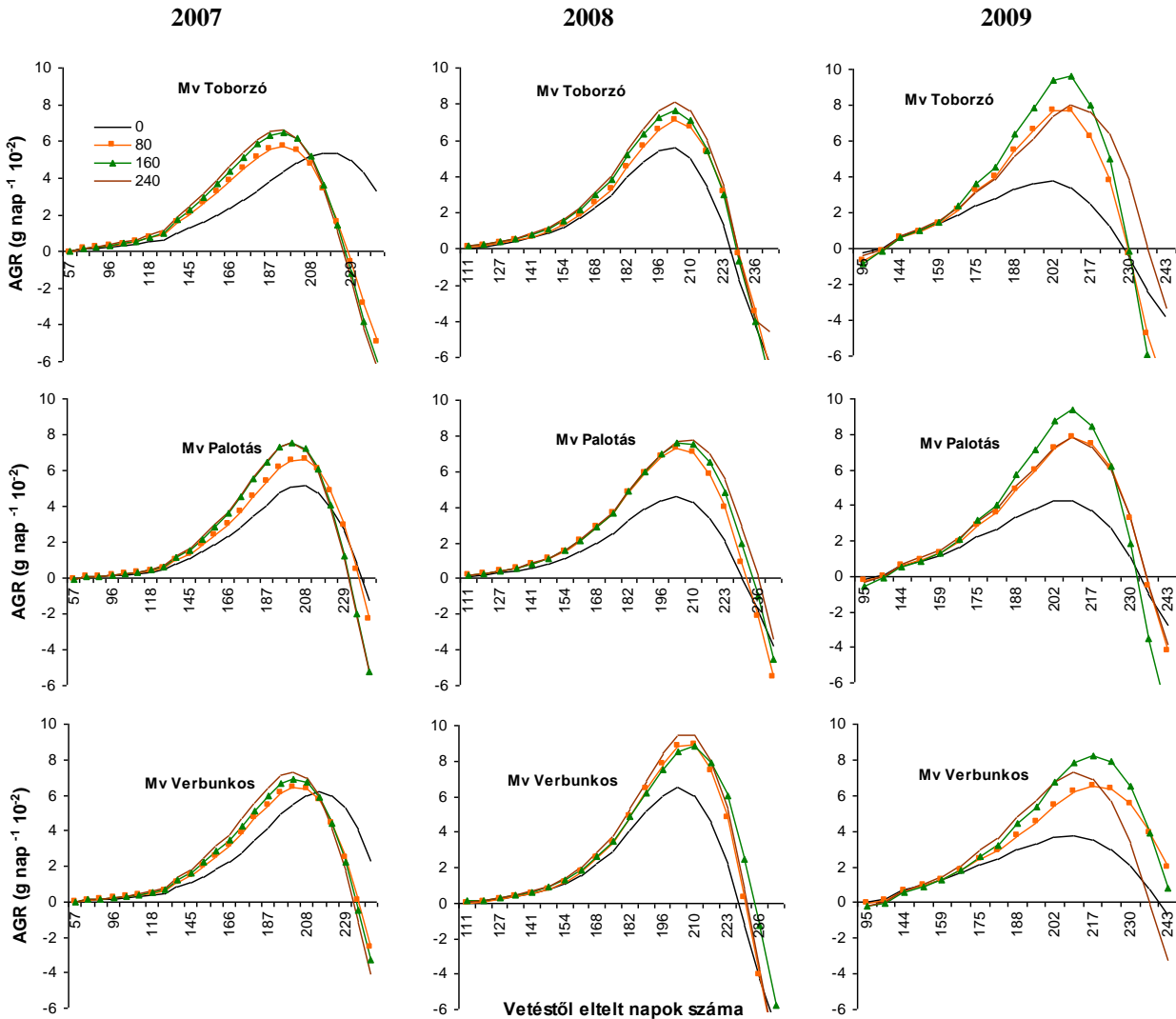
A szárazanyag abszolút növekedési dinamikáját a Hunt-Parsons program harang alakú görbével jellemezte (6. ábra).

Az AGR dinamikája mindhárom évben hasonlóan alakult. A maximális értékeket a virágzás körüli időszakban kaptuk. Kivétel ez alól 2007-ben az Mv Toborzó és Mv Verbunkos AGR dinamikája az N₀ kezelésben. Ebben a két esetben az AGR dinamikája lassabb növekedést mutatott és mintegy négy-öt héttel később (június elején) érte el maximumát. A N-műtrágyázás nélküli kezelés AGR dinamikája élesen elkülönült a műtrágyázott kezelésektől, ez az eltérés különösen nagy volt 2008-ban és 2009-ben.

Az AGR maximális értékeit a növekedésanalízis funkcionális módszerével a 13. táblázat mutatja be. Az AGR maximális értéke ($\text{g nap}^{-1} 10^{-2}$) az egyes N-kezelésekben, a fajták és az évek átlagában, a következőképpen alakult: N₀: 5,01, N₈₀: 7,12, N₁₆₀: 8,04, N₂₄₀: 7,70 volt. Az AGR_{max} a búzafajták közül az Mv Verbunkosnál volt a legnagyobb (7,15), ezt követte az Mv Palotás (6,95) és az Mv Toborzó (6,81). Az évjáratokat tekintve az AGR_{max} 2008-ban volt a legnagyobb (7,44), ennél kisebb volt 2009-ben (6,98) és 2007-ben volt a legkisebb (6,48).

A funkcionális módszerrel számított AGR átlagos értékei ($\text{g nap}^{-1} 10^{-2}$) a virágzásig eltelt időszakban szintén jól mutatják a N-műtrágya reakciót (13. táblázat). Az AGR_{átl} a fajták és az évek átlagában az N₁₆₀ kezelésig nőtt. Az AGR átlagértéke 2008-ban és 2009-ben (2,94 és 2,99)

jóval magasabb volt, mint 2007-ben (2,25). Az átlagértékek jól illeszkednek a klasszikus módszerrel számított értékekhez ($R^2 = 77,5 \%$).



6. ábra. A N-műtrágyázás hatása a búzafajták növényenkénti összes szárazanyag tartalmának abszolút növekedési sebességére (AGR) a vizsgált években (a növekedésanalízis funkcionális módszerével)

Eredmények és értékelésük

13. táblázat. A N-műtrágyázás hatása a búzafajták növényenkénti abszolút növekedési sebességének (AGR) átlagos és maximális értékére, a növekedésanalízis funkcionális módszerével, a vizsgált években ($\text{g nap}^{-1} 10^{-2}$)

N-kezelés	2007			2008			2009		
	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos
AGR _{atl}									
N ₀	1,65	1,61	1,65	2,33	1,99	2,51	2,08	2,06	1,91
N ₈₀	2,38	2,10	2,16	2,81	3,03	3,18	3,57	3,24	2,37
N ₁₆₀	2,69	2,48	2,37	3,15	3,10	3,18	4,14	3,72	2,99
N ₂₄₀	2,83	2,53	2,57	3,33	3,15	3,46	3,48	3,42	2,90
AGR _{max}									
N ₀	5,37	5,13	6,17	5,59	4,56	6,48	3,77	4,26	3,76
N ₈₀	5,70	6,61	6,44	7,08	7,32	8,89	7,68	7,86	6,49
N ₁₆₀	6,49	7,56	6,91	7,65	7,58	8,82	9,65	9,41	8,26
N ₂₄₀	6,60	7,52	7,28	8,11	7,75	9,42	7,98	7,80	6,88

5.3.2. A levélterület abszolút növekedési sebessége (ALGR)

A növekedésanalízis klasszikus módszere alapján

A klasszikus módszerrel számított ALGR értékeket átlagoltuk a levélterület növekedési szakaszában (14. táblázat). A N-kezelésnek mindhárom évben erős szignifikáns hatása volt az átlagos ALGR-re. Az átlagérték ($\text{cm}^2 \text{nap}^{-1} 10^{-2}$) a fajták és az évek átlagában az N₀ kezelésben

14. táblázat A növényenkénti levélterület abszolút növekedési sebességének (ALGR) átlagértékei a növekedési időszakban, a növekedésanalízis klasszikus módszerével ($\text{cm}^2 \text{nap}^{-1} 10^{-2}$)

N-dózis	2007			2008			2009		
	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos
N ₀	0,48	0,60	0,65	1,37	1,02	0,90	1,18	1,30	0,98
N ₈₀	0,94	1,04	1,08	1,96	1,82	1,88	2,21	2,20	1,37
N ₁₆₀	1,81	1,40	1,03	2,17	1,92	1,97	2,66	2,22	1,53
N ₂₄₀	2,00	1,60	1,08	2,40	1,95	2,27	2,75	2,37	1,81
Szignifikancia szintek (F-értékre)									
N		***			***			***	
F		***			***			***	
NxF		***			**			***	

Szignifikancia szintek: **P=1%, ***P=0,1%

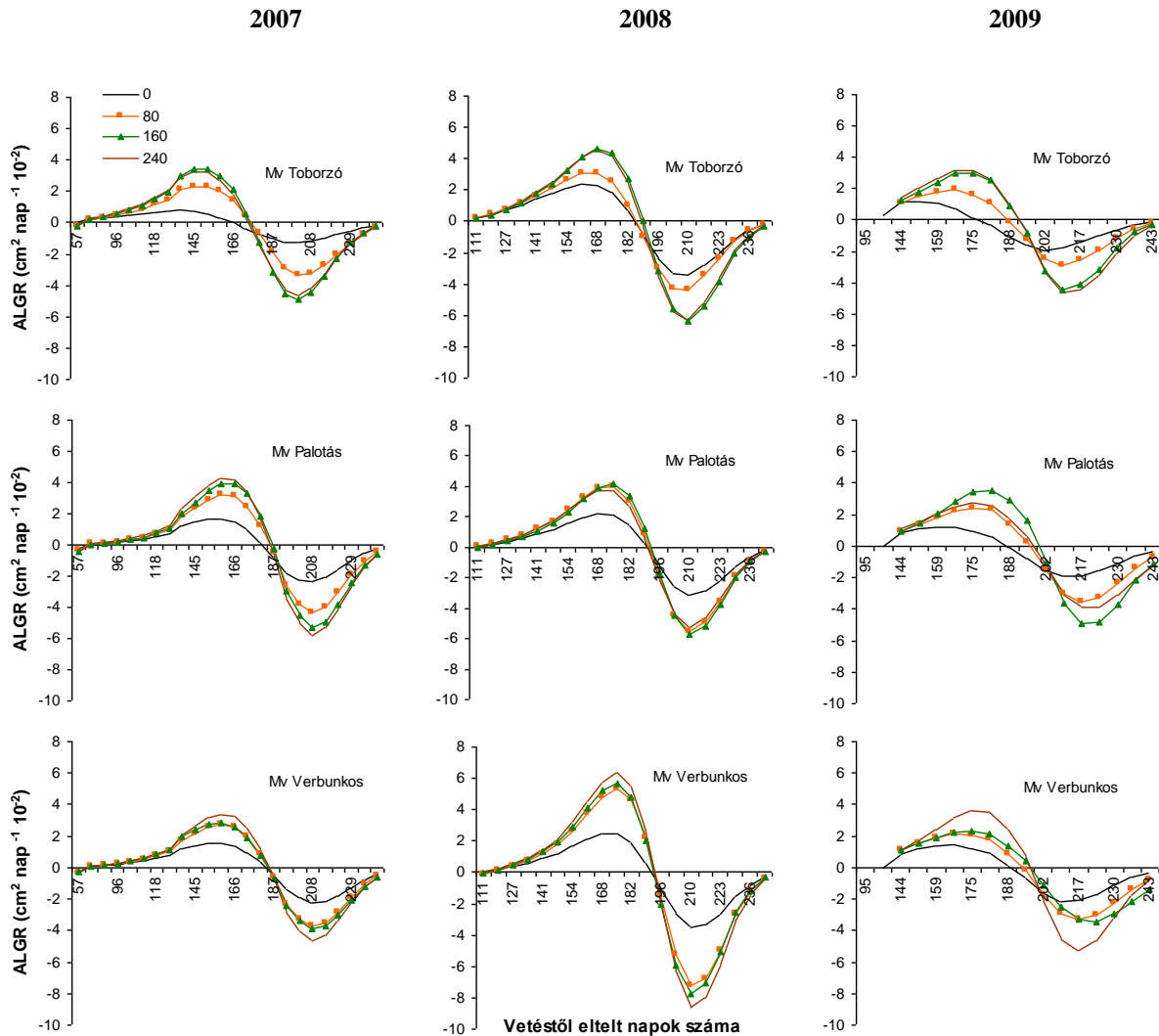
volt a legkisebb ($0,94 \text{ cm}^2 \text{ nap}^{-1}$), sorrendben az N_{80} ($1,61 \text{ cm}^2 \text{ nap}^{-1} 10^{-2}$), az N_{160} ($1,85$) kezelés következett, és az N_{240} kezelésben volt a legnagyobb ($2,03$). A fajtának szintén szignifikáns hatása volt az ALGR-re mindhárom évben. Az N-kezelések és az évek átlagában a legnagyobb $ALGR_{\text{átl}}$ értéket ($\text{cm}^2 \text{ nap}^{-1} 10^{-2}$) az Mv Toborzó ($1,83$) érte el, ezt követte az Mv Palotás ($1,62$), majd az Mv Verbunkos ($1,38$). Az $ALGR_{\text{átl}}$ alakulásában jelentős évhatást figyelhettünk meg. Értéke ($\text{cm}^2 \text{ nap}^{-1} 10^{-2}$) az N-kezelések és a fajták átlagában 2007-ben lényegesen alacsonyabb volt ($1,14$), mint 2008-ban és 2009-ben ($1,8$ és $1,88$).

A növekedésanalízis funkcionális módszere alapján

A N-kezelés hatását a búzafajták levélterületének abszolút növekedési sebességére (ALGR) a növekedésanalízis funkcionális módszere alapján, a vizsgált években a 7. ábra mutatja be. A Hunt-Parsons program a klasszikus módszerrel számított értékek ingadozását kiegyenlítette, és a levélterület abszolút növekedési sebességét két, egymást követő harang alakú görbével jellemezte. Az első a levélterület növekedésének, a második a levélzet száradásának dinamikáját írja le. A növényenkénti levélterület növekedési sebessége a maximális érték eléréséig fokozatosan nőtt, majd a 0 pont eléréséig, a kalászolás idejére, a növekedés lelassult. Ezután a levélzet száradásával a levélterület gyors csökkenése következett, majd a negatív maximum elérése után a levélzet csökkenése lelassult, és a teljes leszáradáskor megállt. A kedvezőtlen 2007-es évben a levélterület növekedése rövidebb ideig tartott, mint kedvező években. Az ALGR funkcionális módszerrel számított átlagértékei a növekedés időszakában (15. táblázat) hasonló műtrágya reakciót mutattak, mint a klasszikus módszerrel kapott átlagértékek.

15. táblázat A növényenkénti levélterület abszolút növekedési sebesség (ALGR) átlagos és maximális értékei a növekedési időszakban a növekedésanalízis funkcionális módszerével ($\text{cm}^2 \text{ nap}^{-1} 10^{-2}$)

N-dózis	2007			2008			2009		
	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos
$ALGR_{\text{átl}}$									
N_0	0,35	0,83	0,82	1,35	1,13	1,25	0,67	0,99	1,17
N_{80}	1,15	1,51	1,35	1,69	1,91	2,28	1,50	1,86	1,76
N_{160}	1,57	1,85	1,44	2,34	1,90	2,48	2,32	2,36	1,84
N_{240}	1,49	2,02	1,65	2,32	1,86	2,78	2,50	2,08	2,61
$ALGR_{\text{max}}$									
N_0	0,81	1,69	1,55	2,38	2,12	2,46	1,19	1,21	1,45
N_{80}	2,31	3,19	2,72	3,07	3,98	5,28	1,91	2,44	2,14
N_{160}	3,45	3,92	2,82	4,6	4,18	5,67	3,00	3,55	2,28
N_{240}	3,23	4,26	3,38	4,51	3,73	6,36	3,16	2,70	3,64



7. ábra. A N-műtrágyázás hatása a búzafajták növényenkénti levélfelület abszolút növekedési sebességére (ALGR) a vizsgált években (A növekedésanalízis funkcionális módszerével)

A fajták között a funkcionális módszer nem mutatott lényeges különbséget, bár az Mv Verbunkos átlagértékei (az N-kezelés és az évek átlagában 1,79) kissé meghaladták az Mv Toborzó és Mv Palotás átlagértékét (1,60 és 1,69). Az évjárat hatása az ALGR átlagértékére a két módszernél hasonló volt.

A funkcionális módszerrel meghatároztuk az ALGR maximális értékét a különböző kísérleti kezeléseknél a levélzet növekedésének időszakában (15. táblázat). A maximális értéket a különböző fajták, érésidőjüknek megfelelően, mintegy egy hetes eltéréssel bokrosodás végén, közvetlenül szárbaindulás előtt érték el. Az ALGR maximális értéke ($\text{cm}^2 \text{ nap}^{-1} 10^{-2}$) a vizsgált fajták és évek átlagában az N_0 kezelésben 1,65, az N_{80} kezelésben 3,00, az N_{160} kezelésben 3,72,

az N₂₄₀ kezelésben pedig 3,89 cm² nap⁻¹ volt. A funkcionális módszer alapján a fajták közül az Mv Verbunkos nagyobb ALGR_{max} értéket (3,31 cm² nap⁻¹10⁻²) ért el, mint az Mv Toborzó és az Mv Palotás (2,80 és 3,08 cm² nap⁻¹10⁻²). A levélterület abszolút növekedési sebességének maximális értéke (cm² nap⁻¹10⁻²) 2008-ban volt a legnagyobb (4,03), melyet a 2007-es (2,78), majd a 2009-es év (2,39) követett.

5.3.3. Az összes szárazanyag relatív növekedési sebessége (RGR)

A növekedésanalízis klasszikus módszere alapján

Az RGR értéke igen variábilis, értéke nagymértékben függ a növény fejlődési stádiumától, fiziológiai állapotától, valamint a környezeti tényezőktől. Ezért a klasszikus módszerrel meghatározott RGR értékeket átlagoltuk a virágzásig eltelt időszakban. A N-műtrágyázás hatását a növényenkénti szárazanyag relatív növekedési sebességének (RGR) átlagértékére a virágzásig eltelt időszakban a 16. táblázatban foglaltuk össze.

16. táblázat A szárazanyag relatív növekedési sebességének (RGR) átlagos értéke a növekedésanalízis klasszikus módszerével (g g⁻¹ nap⁻¹ 10⁻²)

N-dózis	2007			2008			2009		
	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos
N ₀	2,99	3,85	3,77	4,26	4,20	4,82	3,56	3,97	4,27
N ₈₀	3,60	3,93	3,52	4,61	4,63	4,64	4,77	5,01	5,11
N ₁₆₀	3,52	3,83	3,61	4,70	4,74	4,85	5,20	5,72	4,56
N ₂₄₀	3,60	3,97	3,83	4,77	4,85	4,57	5,03	4,36	4,64
Szigifikancia szintek (F-értékre)									
N		**			***			**	
F		***			NS			NS	
NxF		*			**			**	

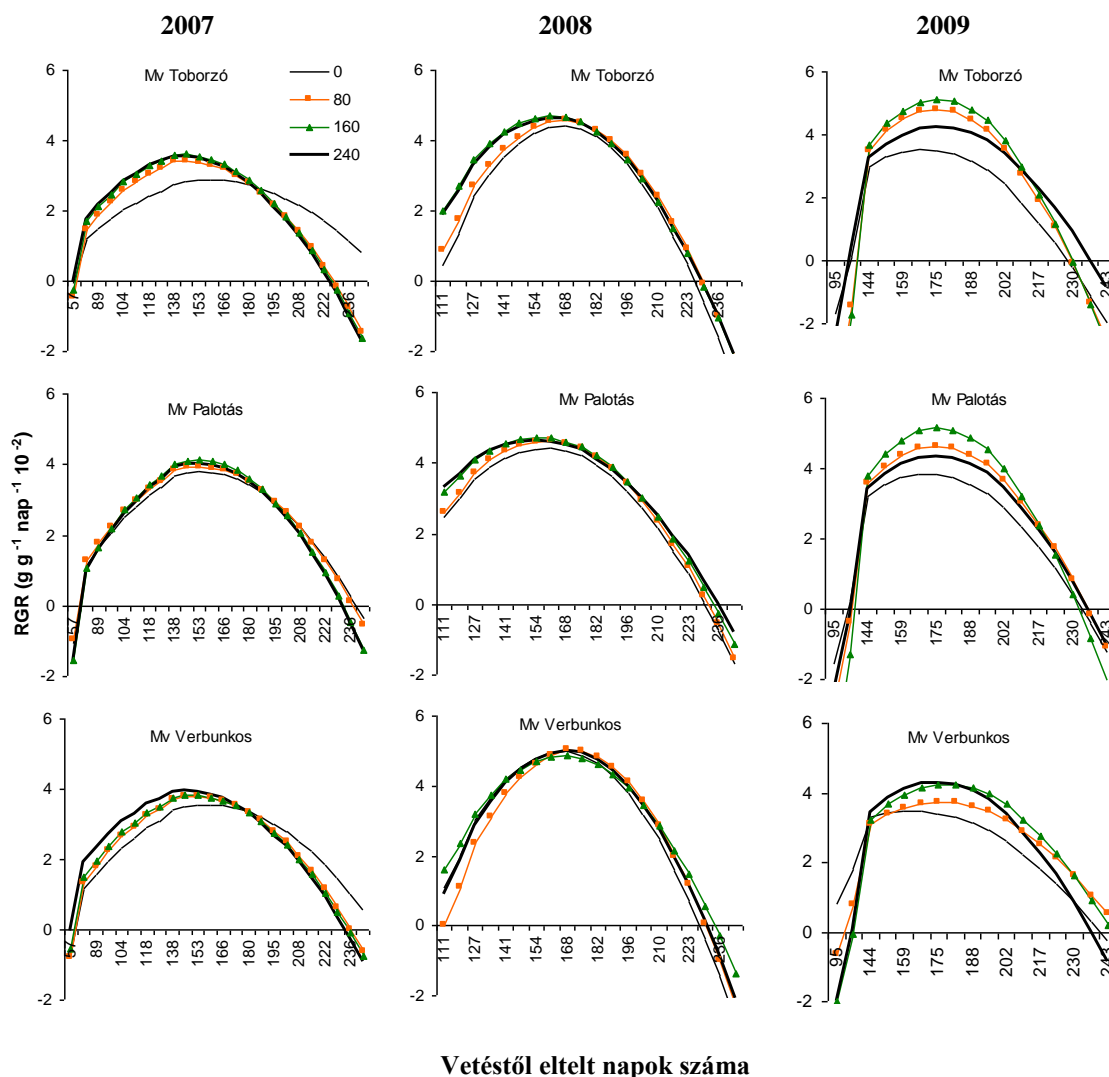
Szigifikancia szintek: *P=5%, **P=1%, ***P=0,1%, NS=nem szignifikáns

A N-műtrágyázásnak mindhárom évben szignifikáns hatása volt a virágzásig mért átlagos RGR alakulására. Az RGR (g g⁻¹ nap⁻¹ 10⁻²) átlagértéke az N₀ kezelésben volt a legkisebb (a fajták átlagában 2007-ben 3,54, 2008-ban 4,43, 2009-ben 3,93), a N-kezelés hatására nőtt, és legmagasabb értékét 2007-ben az N₂₄₀ (3,80), 2008-ban és 2009-ben az N₁₆₀ kezelésben (4,77 és 5,16) érte el. A fajtának csak 2007-ben volt szignifikáns hatása az RGR átlagértékére. Ekkor az Mv Palotás mutatta a legnagyobb RGR_{át}-ot (3,89), ezt követte az Mv Verbunkos (3,68) és az Mv Toborzó (3,42) átlagos RGR értéke. Az átlagos RGR értékek alakulásában a N-kezelés és a fajta

között mindhárom évben szignifikáns kölcsönhatás volt. A vizsgált évek közül az RGR átlagos értéke ($\text{g g}^{-1} \text{nap}^{-1} 10^{-2}$) a fajták és a N-kezelések átlagában 2008-ban és 2009-ben (4,63 és 4,68) lényegesen meghaladta a 2007-es év $\text{RGR}_{\text{átl}}$ értékét (3,67).

A növekedésanalízis funkcionális módszere alapján

A N-kezelések hatását a különböző búzafajták relatív növekedési sebességének (RGR) szezonális dinamikájára a Hunt-Parsons függvényillesztés alapján 2007-2009 években a 8. ábra mutatja.



8. ábra. A N-műtrágyázás hatása a búzafajták növényenkénti szárazanyag relatív növekedési sebességére (RGR), a vizsgált években (A növekedésanalízis funkcionális módszerével)

A kapott függvények jól kiegyenlítik a klasszikus módszerrel számított értékek ingadozását. Az RGR dinamikáját a növények 4-5 leveles állapotától kezdődően egy kezdeti, viszonylag gyors növekedési szakasz jellemezte. A maximális értéket a március közepe és április közepe közötti időszakban, a szárbaindulás kezdetére érte el, majd fokozatosan csökkent és június közepén, a levélzet teljes elszáradásakor érte el a nulla értéket. Az RGR átlagos és maximális értékeit a funkcionális módszer alapján a 17. táblázatban foglaltuk össze.

Az $RGR_{\text{átl}}$ értékei a funkcionális módszernél alacsonyabbak voltak, mint a klasszikus módszer alkalmazása során, azonban a kezelések hatását hasonlóképpen mutatták. A növényenkénti $RGR_{\text{átl}}$ ($\text{g g}^{-1} \text{ nap}^{-1} 10^{-2}$) a fajták és évek átlagában az N_{160} kezelésben volt a legnagyobb (3,33). Az N-kezelések és évek átlagában a fajták között jelentős eltérés nem volt. Az $RGR_{\text{átl}}$ a kedvező 2008-as és 2009-es évben lényegesen nagyobb volt (3,36 és 3,33), mint 2007-ben (2,67). A maximális növényenkénti RGR érték a nitrogénkezelések hatására (a fajták átlagában) mindhárom évben az N_{160} szintig nőtt. 2008-ban az Mv Verbunkos maximális RGR értéke minden N-kezelésben meghaladta a másik két fajtáét. A fajták és N-kezelések átlagában az RGR_{max} ($\text{g g}^{-1} \text{ nap}^{-1} 10^{-2}$) 2008-ban volt a legnagyobb (4,72), ettől elmaradt 2009-ben (4,25) és jóval alacsonyabb volt 2007-ben (3,71).

17. táblázat. A szárazanyag relatív növekedési sebességének (RGR) átlagos és maximális értéke a növekedésanalízis funkcionális módszerével ($\text{g g}^{-1} \text{ nap}^{-1} 10^{-2}$)

N-dózis	2007			2008			2009		
	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos
	$RGR_{\text{átl}}$								
N_0	2,34	2,73	2,72	2,94	3,15	3,28	2,68	2,87	2,71
N_{80}	2,45	2,82	2,72	3,20	3,36	3,37	3,69	3,54	3,12
N_{160}	2,59	2,82	2,75	3,44	3,53	3,62	3,94	3,79	3,48
N_{240}	2,54	2,73	2,84	3,39	3,53	3,52	3,47	3,33	3,31
	RGR_{max}								
N_0	2,88	3,80	3,56	4,41	4,41	4,98	3,15	3,84	3,49
N_{80}	3,42	3,91	3,79	4,57	4,63	5,02	4,80	4,62	3,73
N_{160}	3,61	4,13	3,83	4,70	4,73	4,86	5,11	5,15	4,25
N_{240}	3,55	4,03	3,95	4,64	4,63	5,00	4,23	4,34	4,29

5.3.4. A nettó asszimilációs ráta (NAR)

A növekedésanalízis klasszikus módszere alapján

A NAR erős ingadozása miatt az értékeket átlagoltuk a teljes levélzet kifejlődésének időszakában. A búzafajták nettó asszimilációs rátájának átlagértékeit ebben az időszakban, a 2007-2009-es években a 18. táblázatban foglaltuk össze.

18. táblázat. A N-műtrágyázás hatása a búzafajták nettó asszimilációs rátájának (NAR) átlagos értékeire a teljes levélzet kifejlődéséig, a vizsgált években, a standard hibákkal (SE), a növekedésanalízis klasszikus módszerével ($\text{g m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$)

N-dózis	2007			2008			2009		
	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos
N ₀	1,98±0,12	2,99±0,29	2,31±0,23	2,10±0,07	1,91±0,12	3,65±0,18	1,25±0,35	1,51±0,30	2,25±0,22
N ₈₀	2,99±0,18	3,99±0,26	2,78±0,22	2,57±0,11	2,73±0,17	2,37±0,13	1,35±0,29	1,71±0,21	2,71±0,20
N ₁₆₀	2,49±0,40	4,35±0,37	2,65±0,16	2,45±0,08	2,74±0,15	2,53±0,13	0,83±0,21	1,06±0,34	1,48±0,15
N ₂₄₀	2,47±0,19	3,28±0,38	3,13±0,16	2,40±0,12	2,73±0,16	2,26±0,13	0,61±0,27	1,43±0,18	2,31±0,23

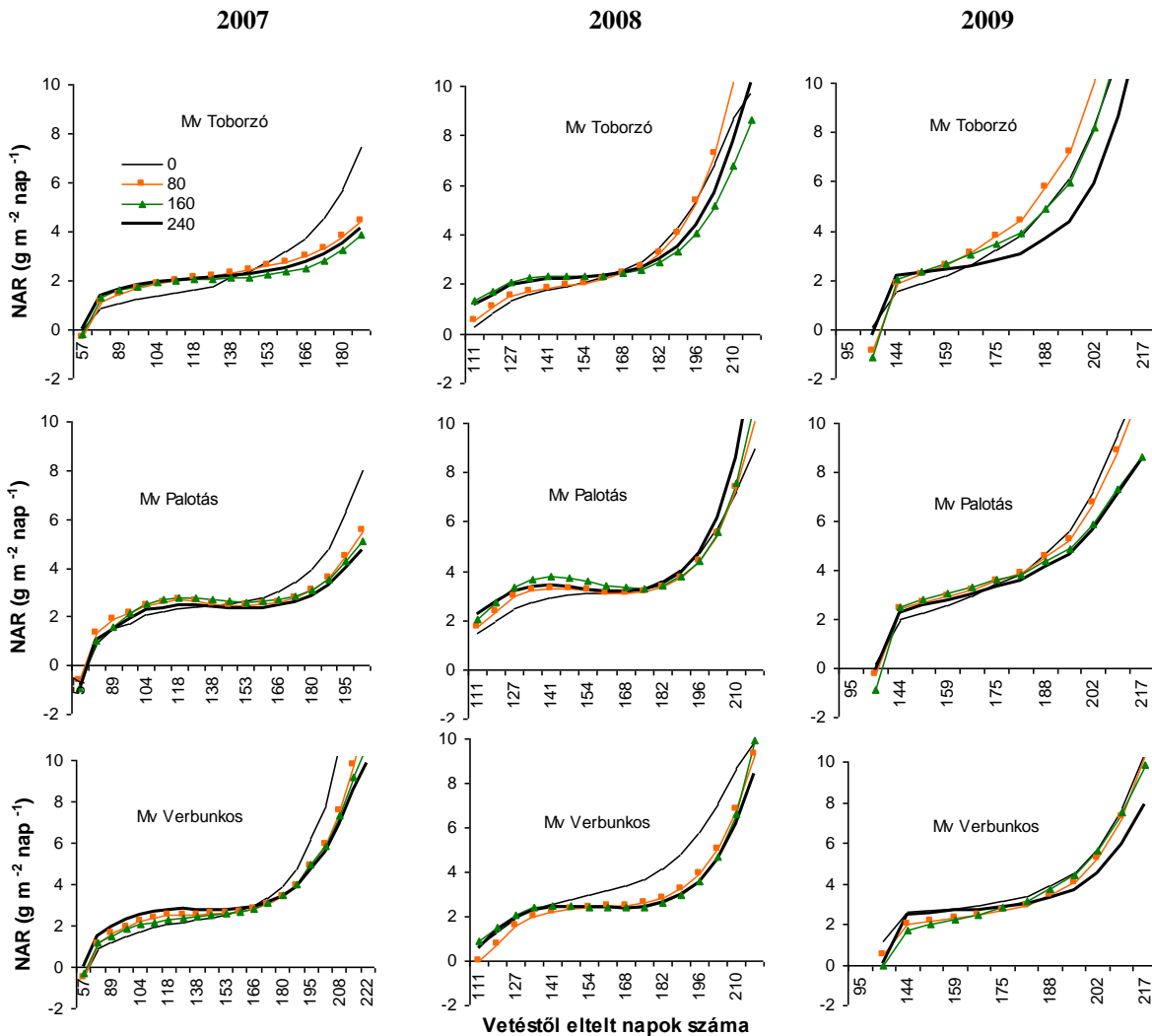
A N-műtrágyázás hatására a NAR átlagos értéke ($\text{g m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$) az N₀ kezelésben volt a legkisebb (a fajták és az évek átlagában 2,22), az N₈₀ kezelésben pedig a legnagyobb (2,58). A NAR érzékenyen reagált a magasabb N-kezelésekben fejlődő nagyobb levélzetre, így az értékek többnyire alacsonyabbak voltak az N₁₆₀ és N₂₄₀ kezeléseknél (egyenként 2,29 értékkel). A fajták között is különbség volt a NAR átlagos értékeiben. Az N-kezelések és az évek átlagában az Mv Verbunkos mutatta a legnagyobb értéket (2,54), ezt követte az Mv Palotás (2,42), majd az Mv Toborzó (1,96). A NAR_{átl} az N-kezelések és a fajták átlagában 2009-ben alacsonyabb volt (1,54), mint 2007-ben és 2008-ban (2,95 és 2,54).

A növekedésanalízis funkcionális módszere alapján

A N-kezelések hatását a búzafajták nettó asszimilációs rátájának dinamikájára a növekedésanalízis funkcionális módszerével, 2007-2009-ben a 9. ábra szemlélteti.

A NAR a korai fejlődés időszakától (4-5 leveles állapot) kezdve néhány hétig (az oldalhajtások kifejlődéséig) gyors növekedést mutatott. Ezt követően a NAR növekedése lelassult, és többé-kevésbé konstans maradt a teljes levélzet kifejlődéséig. Ezután, a levélterület csökkenésével a NAR gyorsuló növekedést mutatott a vegetációs idő végéig. A

függvényillesztés módszerével kiegyenlítettük a klasszikus módszerrel kapott ingadozásokat. A NAR átlagos értékeit a teljes levélzet kifejlődéséig a 19. táblázat tartalmazza.



9. ábra. A N-műtrágyázás hatása a búzafajták növényenkénti nettó asszimilációs rátájára (NAR) a vizsgált években (A növekedésanalízis funkcionális módszerével)

A NAR átlagértéke a fajták és az évek átlagában az N_0 kezelésben volt a legkisebb (2,35), a N-kezelés hatására nőtt, a legmagasabb értéket az N_{160} kezelésben érte el (2,53). A NAR átlagos értéke a klasszikus módszerrel kapott eredményekkel ellentétben 2008-ban (2,37) és 2009-ben (2,79) magasabb volt, mint 2007-ben (2,19).

Eredmények és értékelésük

19. táblázat. A N-műtrágyázás hatása a búzafajták nettó asszimilációs rátájának (NAR) átlagos értékeire a teljes levélzet kifejlődéséig, a vizsgált években, a növekedésanalízis funkcionális módszerével ($\text{g m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$)

N-szintek	2007			2008			2009		
	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos
N ₀	1,76	2,22	1,97	1,70	2,73	2,48	2,53	2,82	2,91
N ₈₀	2,07	2,44	2,32	1,80	2,94	1,89	2,99	3,11	2,43
N ₁₆₀	1,98	2,49	2,21	2,18	3,29	2,16	2,91	3,19	2,40
N ₂₄₀	2,04	2,22	2,58	2,09	3,10	2,06	2,55	2,90	2,68

5.3.5. A levélterület arány (LAR)**A növekedésanalízis klasszikus módszere alapján**

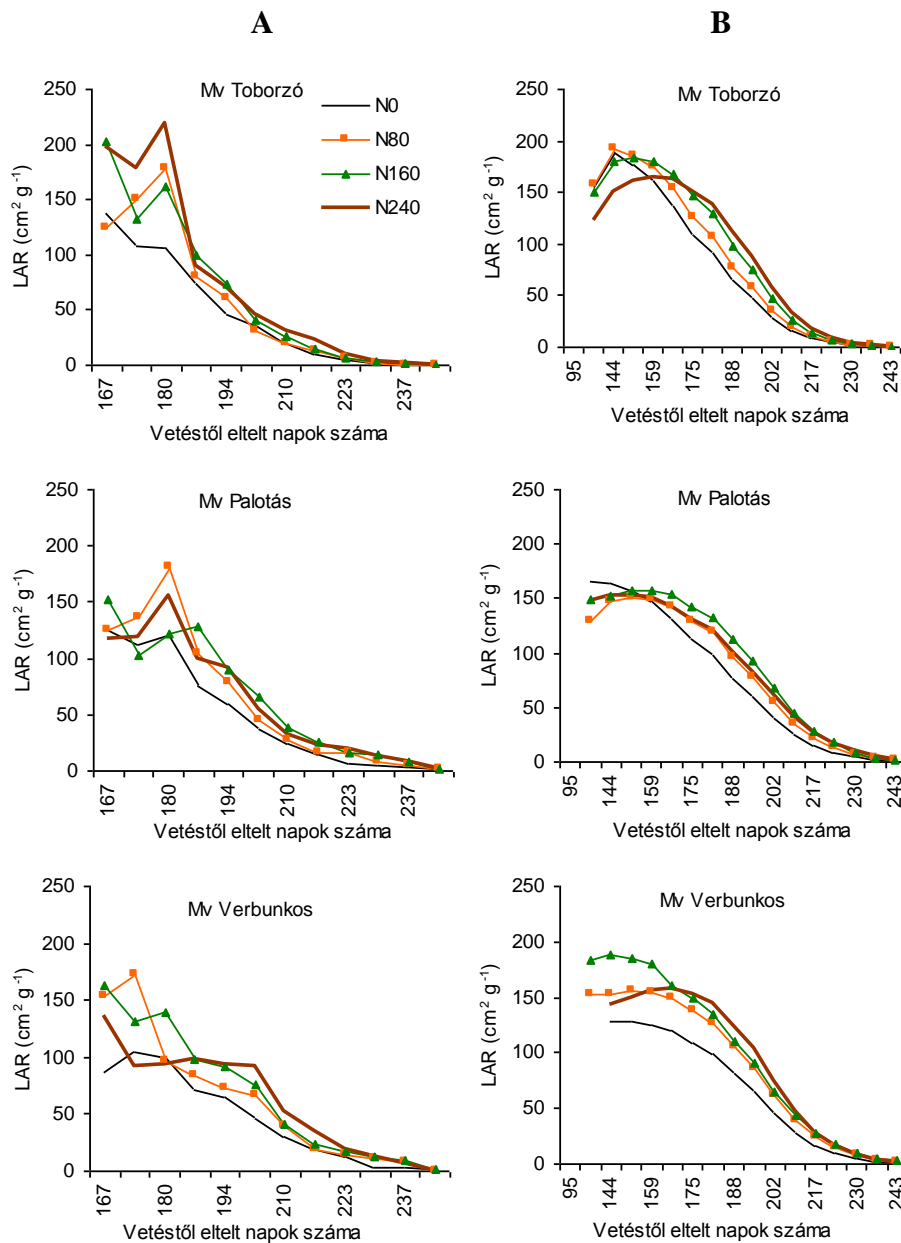
A N-műtrágyázás hatását a búzafajták levélterület arányának (LAR) dinamikájára a növekedésanalízis klasszikus módszerével 2009-ben a 10.A. ábra mutatja be. A LAR értékek kezdetben ingadozó növekedést mutattak és bokrosodás végére (március vége-április eleje) érték el maximális értéküket. Ezt követően a LAR erőteljesen csökkent virágzásig, majd a csökkenés lassabb mértékben tovább folytatódott. A LAR átlagos értékeit a vegetatív időszakban a 20. táblázat tartalmazza.

20. táblázat. A búzafajták levélterület arány (LAR) átlagértékei a vegetatív növekedési időszakban a különböző N-műtrágya kezelésekből, a vizsgált években, a növekedésanalízis klasszikus módszerével ($\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$)

N-dózis	2007			2008			2009		
	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos
LAR _{átl}									
N ₀	98,90	108,31	116,23	135,18	113,35	121,10	108,33	112,60	108,6
N ₈₀	110,18	111,66	111,41	141,15	111,45	141,69	120,51	115,97	125,68
N ₁₆₀	124,26	113,42	116,69	139,86	107,66	144,78	129,62	127,66	141,05
N ₂₄₀	118,97	119,42	113,80	141,37	110,54	144,95	128,78	120,81	134,37
Szignifikancia szintek (F-értékre)									
N	**			***			***		
F	NS			***			***		
NxF	NS			*			NS		

Szignifikancia szintek: *P=5%, **P=1%, ***P=0,1%, NS=nem szignifikáns

A N-műtrágyázásnak mindhárom évben, a fajtának kedvező években volt szignifikáns hatása a LAR alakulására. A LAR átlagos értéke a fajták és az évek átlagában az N_0 kezelésben volt a legkisebb (113,62), az N_{160} kezelésben pedig a legnagyobb (127,22). Az N-kezelések és az évek átlagában az Mv Toborzó és az Mv Verbunkos $LAR_{\text{átl}}$ értéke (124,76 és 126,70 $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$) meghaladta az Mv Palotásét (114,40 $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$). A $LAR_{\text{átl}}$ 2008-ban volt a legnagyobb (129,42 $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$), ennél kisebb volt 2009-ben (122,83 $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$), és 2007-ben volt a legkisebb (113,60 $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$).



10. ábra. A N-műtrágyázás hatása a búzafajták levélterület arányára (LAR) a növekedésanalízis klasszikus (A) és funkcionális (B) módszerével 2009-ben

A növekedésanalízis funkcionális módszere alapján

A N-műtrágyázás hatását a búzafajták levélterület arányának (LAR) dinamikájára a növekedésanalízis funkcionális módszerével a vizsgált években a *10.B. ábra* mutatja be.

A függvényillesztés során kapott LAR dinamika jól kiegyenlítette a klasszikus módszerrel számított értékek kezdeti ingadozását, a maximális értékek pedig a klasszikus módszerhez képest 1-2 héttel korábbra estek. A LAR dinamikája jól követte a mért értékek alapján kapott dinamikát.

A LAR átlagértéke a virágzásig eltelt időszakában jól mutatta a N-kezelések hatását (*21. táblázat*).

21. táblázat. A búzafajták levélterület arány (LAR) átlagértékei virágzásig a különböző N-műtrágya kezelésekben, a növekedésanalízis funkcionális módszere alapján, 2007-2009-ben ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$)

N-dózis	2007			2008			2009		
	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos
N_0	100,34	112,31	116,18	141,91	112,24	123,94	106,58	106,56	92,67
N_{80}	111,91	119,22	116,40	149,52	115,32	150,84	116,83	111,84	120,11
N_{160}	126,49	120,04	122,15	148,28	109,32	153,81	125,74	123,88	135,37
N_{240}	120,18	129,43	116,96	149,37	112,33	155,82	121,69	116,52	125,29

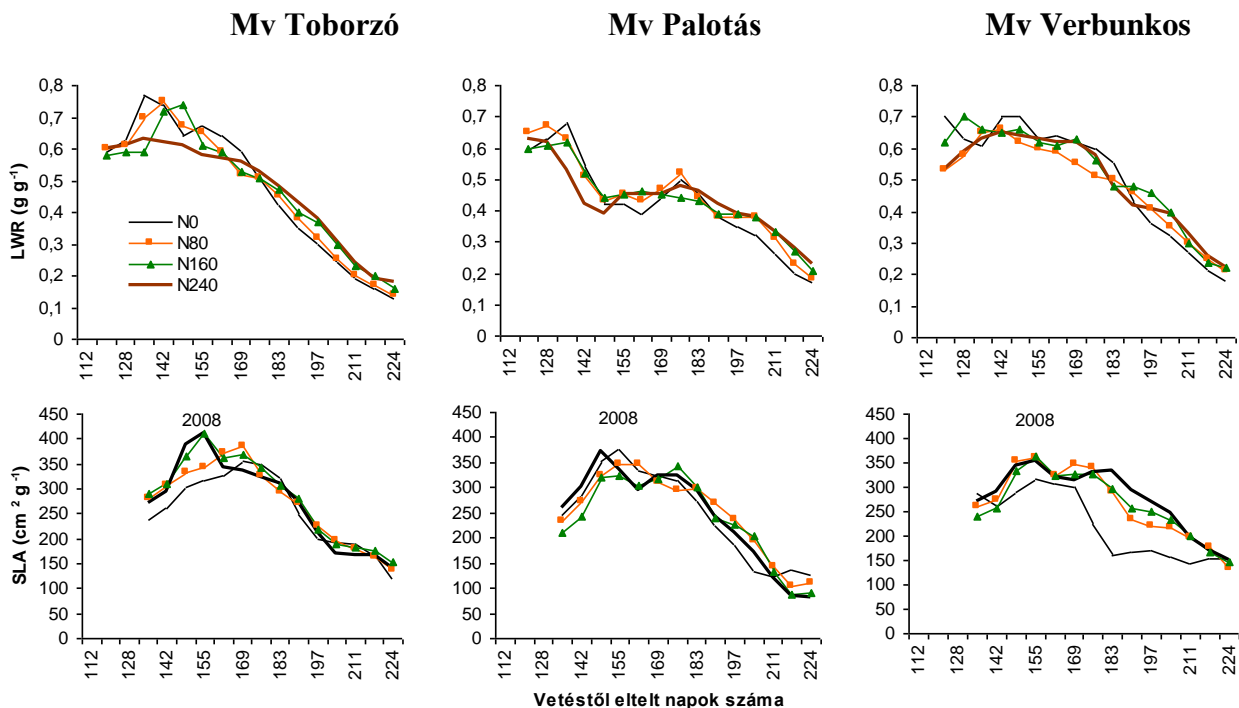
Értékei az egyes N-kezelésekben a fajták és az évek átlagában a klasszikus módszerrel kapott eredményekhez hasonlóan alakultak: N_0 : 112,53, N_{80} : 123,55, N_{160} : 129,45, N_{240} : 127,51 $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$. A fajta hatása is hasonló volt a $LAR_{\text{átl}}$ értékekre a klasszikus és funkcionális módszer alkalmazása során. Az N-kezelések és az évek átlagában a virágzásig számított $LAR_{\text{átl}}$ az Mv Toborzó (126,57) és Mv Verbunkos (127,46) fajtáknál nagyobb volt, mint az Mv Palotás esetében (115,75). A $LAR_{\text{átl}}$ 2007-ben és 2009-ben hasonló volt (117,63 és 116,92), a legnagyobb értéket 2008-ban érte el (135,23).

5.3.6. A levéltömeg arány (LWR) és a specifikus levélterület (SLA)

Az $LWR_{\text{átl}}$ alakulásában évjáráthatást nem tudunk kimutatni, az SLA átlagértékei 2008-ban voltak a legmagasabbak, ezért a N-műtrágyázás hatását a búzafajták levéltömeg arányának (LWR) és specifikus levélterületének (SLA) dinamikájára a 2008. évre vonatkozóan mutatjuk be a növekedésanalízis klasszikus módszerével (*11. ábra*).

A kezdeti növekedés után az LWR (g g^{-1}) maximális értékét a bokrosodás kezdetén érte el, majd ezután csökkenő tendenciát mutatott a tenyészidő végéig. Az LWR átlagértéke N-kezelésenként és fajtánként eltért (22. táblázat). Legnagyobb értékét átlagosan az N_{160} és N_{240} kezelésekben érte el. A fajták közül az Mv Tovorzó átlagértéke kisebb volt (0,44), mint az Mv Palotásé és az Mv Verbunkosé (0,49 és 0,48).

A N-műtrágyázás hatását a búzafajták specifikus levélterületének (SLA) dinamikájára 2007-2009-ben a 11. ábra szemlélteti.



11. ábra. A nitrogén műtrágyázás hatása a búzafajták levéltömeg arányának (LWR) és specifikus levélterületének (SLA) dinamikájára 2008-ban, a növekedésanalízis klasszikus módszerével

Az SLA dinamikája az intenzív bokrosodás idején (március második felében) érte el maximális értékét, ezután kisebb-nagyobb ingadozásokkal csökkenő tendenciát mutatott a vegetációs időszak végéig. A dinamika jól mutatja, hogy a bokrosodás idején fejlődött levelek egységnyi levélterületre vonatkozóan kevesebb szárazanyagot tartalmaznak, mint szárbaindulást követően a magasabb levélszinteken fejlődő levelek. Az SLA átlagértéke a virágzásig eltelt időszakban N-kezelésenként, fajtánként és évenként egyaránt eltérően alakult (22. táblázat). Értéke a N-kezelések közül - a fajták és az évek átlagában - az N_{160} (265,22) szinten volt a legnagyobb. A fajták közül az Mv Tovorzó érte el a legnagyobb $SLA_{\text{átl}}$ -t (260,83), ezt követte az

Eredmények és értékelésük

Mv Verbunkos (246,17), majd az Mv Palotás átlagértéke (240,08). Az $SLA_{\text{átl}}$ 2008-ban volt a legnagyobb (272,67), ennél kisebb volt 2009-ben (250,58), és az aszályos évben volt a legkisebb (223,82).

22. táblázat. A búzafajták levéltömeg arányának (LWR) és specifikus levélterületének (SLA) átlagos értékei virágzásig a standard hibákkal (SE) a növekedésanalízis klasszikus módszerével

N-dózis	2007			2008			2009		
	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos
$LWR_{\text{átl}}$ (g g ⁻¹)									
N ₀	0,40±0,03	0,53±0,07	0,45±0,04	0,43±0,03	0,46±0,04	0,55±0,08	0,42±0,07	0,46±0,11	0,47±0,07
N ₈₀	0,42±0,04	0,47±0,03	0,45±0,05	0,44±0,03	0,50±0,06	0,44±0,09	0,42±0,10	0,44±0,10	0,49±0,05
N ₁₆₀	0,45±0,04	0,49±0,05	0,49±0,06	0,47±0,05	0,49±0,07	0,50±0,03	0,47±0,06	0,50±0,08	0,47±0,07
N ₂₄₀	0,46±0,05	0,49±0,36	0,52±0,04	0,48±0,03	0,51±0,07	0,43±0,06	0,46±0,07	0,53±0,05	0,51±0,10
$SLA_{\text{átl}}$ (cm ² g ⁻¹)									
N ₀	210±17	203±19	227±15	271±6	262±11	231±31	236±57	218±97	205±41
N ₈₀	222±24	219±36	211±24	288±14	264±22	282±61	265±66	240±52	250±34
N ₁₆₀	270±18	218±39	227±41	295±28	261±29	276±24	284±41	260±87	296±73
N ₂₄₀	240±26	236±34	203±20	286±9	266±27	290±25	263±31	234±31	256±84

5.4. A N-műtrágyázás hatása az őszi búzafajták növényállomány növekedési mutatóira

5.4.1. A levélterület index dinamikája (LAI)

A növekedésanalízis klasszikus módszere alapján

A N-műtrágyázás és a genotípus hatását a LAI maximális értékeire a 23. táblázat mutatja be. A nitrogén műtrágyázás és a fajta mindegyik évben szignifikáns hatással volt a LAI_{max} értékekre.

23. táblázat A búzafajták levélterület indexének (LAI) maximális értékei a különböző N-kezelésekben a növekedésanalízis klasszikus módszerével (2007-2009) (m² m⁻²)

N-dózis	2007			2008			2009		
	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos
N ₀	3,35	4,1	5,16	5,46	4,26	4,53	4,57	3,63	4,03
N ₈₀	7,92	7,05	7,47	7,57	7,99	8,73	6,74	6,46	6,77
N ₁₆₀	11,11	10,11	8,29	8,93	8,48	9,09	7,76	7,63	7,25
N ₂₄₀	11,34	9,7	8,66	8,92	8,14	9,74	7,16	7,12	8,15
Szignifikancia szintek (F-értékekre)									
N		***			***			***	
F		**			***			*	
NxF		**			***			**	

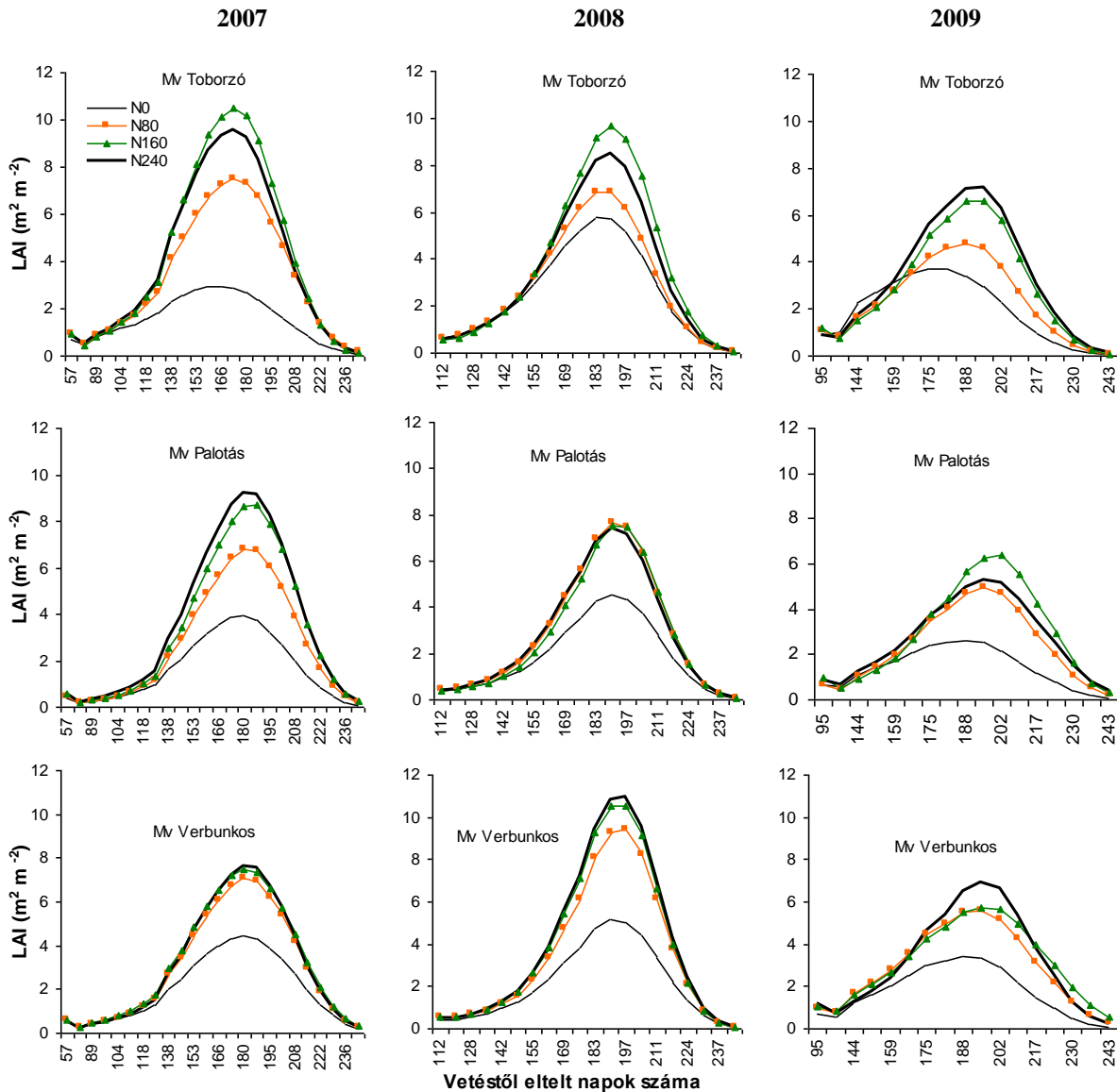
Szignifikancia szintek: *P=5%, **P=1%, ***P=0,1%

A LAI_{max} mindhárom fajtánál és mindegyik évben az N_0 kezelésben volt a legkisebb, nőtt az N_{80} kezelésben és fajtától és évjárártól függően az N_{160} , illetve az N_{240} kezelésben volt a legnagyobb. Értéke a fajták és az évek átlagában az N_0 kezelésben 4,34, az N_{80} kezelésben 7,41, az N_{160} , illetve az N_{240} kezelésben 8,74, illetve 8,77 $m^2 m^{-2}$ volt. A fajták közül a nitrogénkezelések és az évek átlagában az Mv Toborzó érte el a legmagasabb LAI_{max} értéket (7,57), ezt követte az Mv Verbunkos (7,32) és az Mv Palotás (7,06 $m^2 m^{-2}$) LAI_{max} értéke. A LAI_{max} ($m^2 m^{-2}$) a N-kezelések és a fajták átlagában az aszályos 2007-es évben volt a legnagyobb (7,86), ettől kissé elmaradt 2008-ban (7,65) és 2009-ben volt a legkisebb (6,44). Hasonló N-műtrágya reakcióról számol be Basso et al. (2010). Olaszországban végzett kísérletében a búza LAI értéke virágzáskor a 0 kg/ha N-kezelésben 1,8, a 90 kg/ha N-kezelésben 3,14 volt.

A növekedésanalízis funkcionális módszere alapján

A N-műtrágyázás hatását a búzafajták levélterület indexének (LAI) dinamikájára a növekedésanalízis funkcionális módszerével 2007-2009-ben a 12. ábra mutatja be. A HP program minden esetben harmadfokú függvénnyel jellemezte a LAI dinamikáját. A LAI maximális értékei jól illeszkedtek a klasszikus módszerrel számított maximális értékekhez ($R^2=85,6\%$). Az egyes nitrogénkezelések hatása jól elkülönült a levélterület index dinamikájában, a legnagyobb elkülönülés az N_0 és N_{80} kezelés között volt. A maximális értékeket az április elejétől május elejéig terjedő időszakban kaptuk, mely a szárbaindulás-kalászosítás időszakát jelenti. Ezután az alsó levelek gyors száradása miatt a LAI érték csökkent. Pepó (2005) levélterület-dinamikai vizsgálatok alapján arról számol be, hogy a LAI_{max} értékek a kalászhányás-virágzás időszakában alakultak ki. A LAI funkcionális módszer szerinti maximális értékeit a 24. táblázat tartalmazza. A maximális értékek jól mutatták a kezelések közötti különbségeket (N_0 :4,05, N_{80} : 6,73, N_{160} : 8,13, N_{240} : 8,06 $m^2 m^{-2}$).

A klasszikus módszerrel kapott eredményekhez hasonlóan a N-kezelések és az évek átlagában kapott értékek ($m^2 m^{-2}$) alapján az Mv Palotás LAI_{max} értéke (6,24) elmaradt az Mv Toborzó és Mv Verbunkos átlagértékétől (6,96 és 7,02). A funkcionális módszerrel számított LAI_{max} érték ($m^2 m^{-2}$) az N-kezelések és a fajták átlagában, a klasszikus módszertől eltérően 2008-ban volt a legnagyobb (7,83), ettől elmaradt 2007-ben (7,14) és 2009-ben (a klasszikus módszerrel megegyezően) lényegesen alacsonyabb (5,25) volt.



12. ábra. A nitrogén műtrágyázás hatása a búzafajták levélterület indexének (LAI) dinamikájára a vizsgált években (A növekedésanalízis funkcionális módszerével)

24. táblázat A búzafajták levélterület indexének (LAI) maximális értékei N-kezelésenként a növekedésanalízis funkcionális módszerével (2007-2009) ($m^2 m^{-2}$)

N-dózis	2007			2008			2009		
	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos
N ₀	2,95	3,85	4,43	5,77	4,53	5,13	3,71	2,63	3,43
N ₈₀	7,49	6,79	7,06	6,88	7,64	9,39	4,76	4,95	5,59
N ₁₆₀	10,49	8,67	7,50	9,70	7,51	10,56	6,59	6,38	5,74
N ₂₄₀	9,58	9,23	7,64	8,51	7,38	10,93	7,13	5,26	6,88

5.4.2. A termésnövekedés sebessége (CGR)

A növekedésanalízis klasszikus módszere alapján

Növényállományokban a produkció efficienciájának fontos mutatója a CGR (Berzsenyi, 2000). A CGR időbeni dinamikája nagy ingadozást mutatott, ezért átlagoltuk a virágzásig számított értékeket.

A nitrogén-műtrágyázás és az évjárat hatását a búzafajták termésnövekedési sebességének (CGR) átlagos értékére a vegetatív növekedés időszakában a 25. táblázat mutatja be.

Az átlagos CGR értékek a N-kezelések hatására mindhárom évben szignifikánsan nőttek az N₁₆₀ kezelésig. A fajták és az évek átlagában a CGR_{átl} (g m⁻² nap⁻¹) az N₀ kezelésben volt a legkisebb (10,17), ennél nagyobb volt az N₈₀ és N₂₄₀ kezelésekből és a legmagasabb értékét az N₁₆₀ kezelésben (16,35) érte el. A fajta szintén szignifikáns hatással volt a CGR átlagos értékére (g m⁻² nap⁻¹). 2007-ben és 2009-ben az Mv Toborzó érte el a legnagyobb átlagos CGR-t, az N-kezelések átlagában 17,09 és 13,83 értékkel, míg a kedvező 2008. évben az Mv Verbunkos CGR_{átl} értéke volt a legnagyobb (14,89). A CGR_{átl} (g m⁻² nap⁻¹) az N-kezelések és fajták átlagában az aszályos 2007-es évben (16,04) felülmúlta a 2008. és 2009. évre számított értékeket (13,90 és 12,81).

25. táblázat. A N-műtrágya kezelése hatására a búzafajták termésnövekedési sebességének (CGR) átlagos értékére a vegetatív növekedés időszakában, 2007-2009-ben (g m⁻² nap⁻¹)

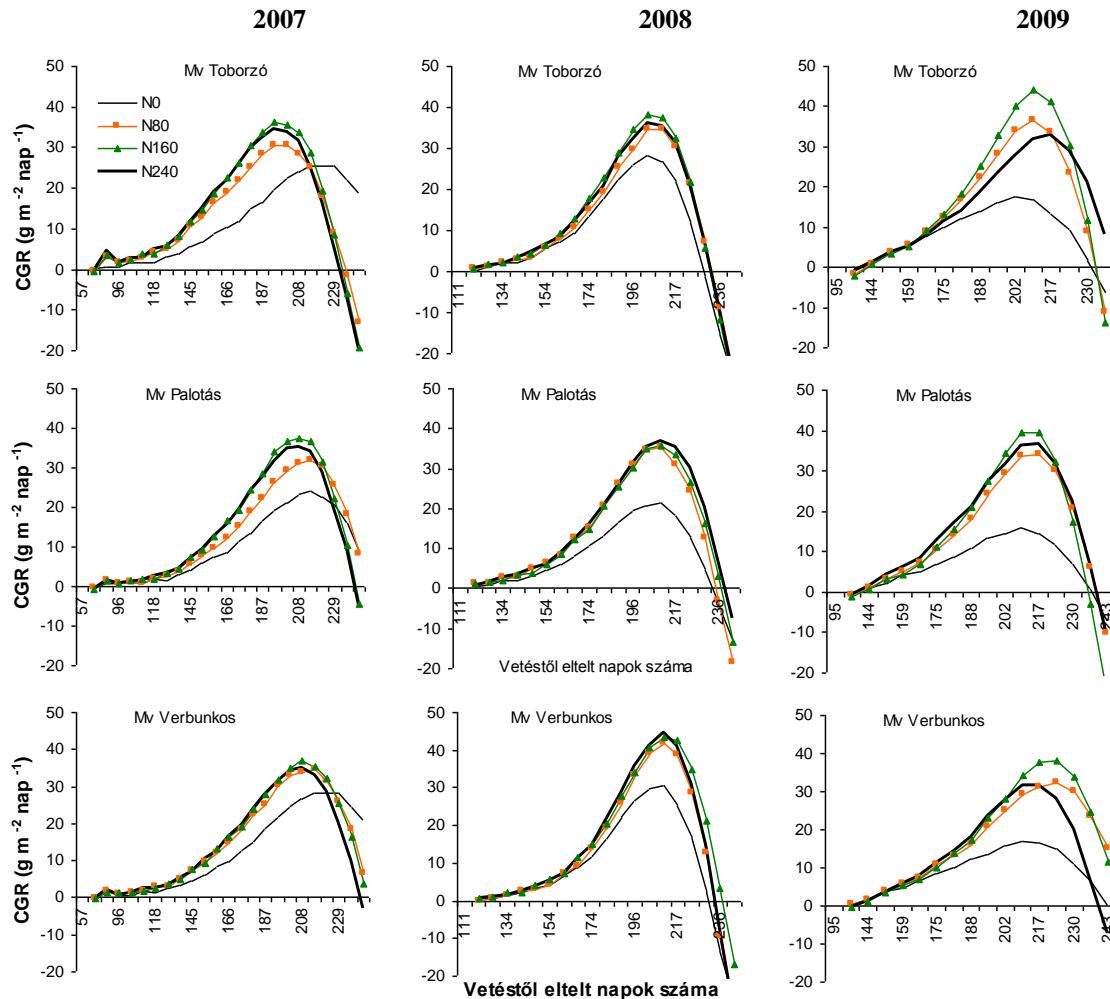
N-dózis	2007			2008			2009		
	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos
N ₀	11,95	10,99	14,06	11,29	8,77	10,85	8,85	6,76	8,05
N ₈₀	18,86	14,63	15,45	12,66	14,18	16,25	15,78	14,57	14,78
N ₁₆₀	19,46	16,77	18,28	16,04	13,73	17,18	17,63	14,27	13,83
N ₂₄₀	18,09	17,74	16,15	15,24	15,32	15,28	13,04	12,88	13,26
Szignifikancia szintek (F-értékre)									
N		***			***			***	
F		**			***			***	
NxF		**			***			*	

Szignifikancia szintek: *P=5%, **P=1%, ***P=0,1%

A növekedésanalízis funkcionális módszere alapján

A N-műtrágyázás hatását a búzafajták termésnövekedés sebességének (CGR) dinamikájára a növekedésanalízis funkcionális módszerével 2007-2009-ben a 13. ábra mutatja be. A CGR dinamikáját az AGR-hez hasonló, harang alakú görbe jellemezte.

A maximális értékeket a virágzás időszakában kaptuk. A kezelések hatását a CGR maximális értékére a funkcionális módszerrel tudtuk értelmezni. Az N_0 kezelés dinamikája lényegesen elkülönült a műtrágyázott kezelések dinamikájától. A CGR maximális és átlagos értékeit, a funkcionális módszer alapján a 26. táblázatban foglaltuk össze.



13. ábra. A nitrogén műtrágyázás hatása a búzafajták terménynövekedés sebességének (CGR) dinamikájára a vizsgált években (a növekedésanalízis funkcionális módszerével)

A maximális érték ($\text{g m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$) a fajták és az évek átlagában az N_0 kezelésben volt a legkisebb (23,11), nőtt az N_{80} kezelésben (34,67) és az N_{160} kezelésben volt a legnagyobb (38,80). A fajták közül a legnagyobb CGR_{max} -ot ($\text{g m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$) az Mv Verbunkos érte el, átlagosan 34,50 értékkel, ennél kisebb volt az Mv Toborzó (32,88) és Mv Palotás (31,98) maximális CGR értéke. A CGR_{max} az évek közül 2008-ban volt a legnagyobb, az N-kezelések és a fajták átlagában $35,56 \text{ g m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$ értékkel.

A funkcionális módszerrel 2007-ben alacsonyabb átlagos CGR értékeket kaptunk, mint a klasszikus módszernél (26. táblázat), de az értékek ($P = 0,1\%$ mellett) szoros összefüggést mutattak a két módszer alkalmazása során ($R^2 = 56,4\%$).

Az eredmények alapján a $CGR_{\text{átl}}$ ($\text{g m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$) szintén az N_{160} kezelésben volt a legnagyobb (14,83), a fajták közül pedig az Mv Toborzó mutatta a legmagasabb értéket (13,79). A $CGR_{\text{átl}}$ ($\text{g m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$) az N-kezelések és fajták átlagában 2007-ben volt a legkisebb (12,28), ennél

26. táblázat. A N-műtrágyázás hatása a búzafajták termésnövekedés sebességének (CGR) maximális és átlagos értékére a vizsgált években, a növekedésanalízis funkcionális módszerével ($\text{g m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$)

N-dózis	2007			2008			2009		
	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos
CGR_{max}									
N_0	25,37	23,97	28,17	28,19	21,49	30,60	17,44	15,97	16,80
N_{80}	30,64	31,94	34,76	34,72	35,26	41,94	36,43	33,94	32,37
N_{160}	36,14	37,29	37,03	38,31	35,59	43,40	43,99	39,50	37,98
N_{240}	34,38	35,36	35,00	36,08	36,72	44,41	32,88	36,72	31,50
$CGR_{\text{átl}}$									
N_0	8,60	7,77	9,84	11,84	9,34	11,82	9,51	7,52	8,51
N_{80}	13,58	10,55	12,34	13,78	14,49	14,42	15,19	13,19	12,13
N_{160}	16,19	13,36	13,26	15,81	14,34	15,41	17,27	14,85	13,02
N_{240}	15,86	12,88	13,08	14,84	14,73	15,67	13,05	14,95	13,04

nagyobb értéket ért el 2009-ben (12,69) és 2008-ban volt a legnagyobb (13,87).

5.4.3. A levélterület tartóssága (LAD)

A levélterület tartósság (LAD) kvantitatív formában fejezi ki, hogy milyen hosszú ideig tartja fenn a növényállomány az aktív fotoszintetizáló területet (Berzsenyi, 2000). A 27. táblázat bemutatja a N-műtrágyázás hatását a búzafajták levélterület tartósságára (LAD) a vizsgált években. A kumulált értékeket a levélterület-index-ből számítottuk.

A N-műtrágyázásnak és a fajtának mindhárom évben erős szignifikáns hatása volt a LAD_{LAI} értékre. A LAD_{LAI} (nap) értéke az N_0 kezelésben volt a legkisebb, a másik két tényező átlagában 287,6, ennél lényegesen nagyobb volt az N_{80} kezelésben (441,4) és az N_{160} kezelésben volt a legnagyobb (516,3). A fajták közül a kedvező 2008 és 2009 években az Mv Verbunkos LAD_{LAI} értéke (átlagosan 471,5 és 377,3 nap) volt a legmagasabb. A LAD_{LAI} (nap) a másik két tényező átlagában 2007-ben (533,67) volt a legnagyobb, ennél kisebb volt 2008-ban (432,76) és 2009-ben (347,40) volt a legkisebb. A virágzástól számított LAD (LAD_{LAIv}) (27. táblázat)

Eredmények és értékelésük

hasznos műtrágyareakciót mutatott, a fajták közül pedig mindegyik évben az Mv Verbunkos mutatta a legmagasabb értéket.

27. táblázat. A N-műtrágya kezelések hatása a búzafajták levélterület tartósságára a teljes tenyészidőszak alatt (LAD_{LAI}), a virágzás utáni időszakban (LAD_{LAIv}), valamint a zászlóslevél levélterület tartósságára (LAD_{zl}), 2007-2009-ben, a növekedésanalízis klasszikus módszerével

N-szint	2007			2008			2009		
	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos
LAD_{LAI} (nap)									
N_0	285,37	290,40	357,94	364,32	260,76	295,25	280,88	207,40	246,37
N_{80}	598,34	473,31	524,46	416,24	419,74	492,36	328,47	316,83	402,84
N_{160}	771,95	601,44	571,26	532,73	413,18	545,84	387,97	395,04	427,41
N_{240}	736,11	642,91	550,53	477,86	422,34	552,44	372,63	370,33	432,58
Szignifikancia szintek (F-értékre)									
N		***			***			***	
F		***			***			***	
NxF		***			***			***	
LAD_{LAIv} (nap)									
N_0	44,64	81,48	115,73	65,54	59,56	85,79	32,66	33,60	49,78
N_{80}	124,21	158,18	178,18	73,99	93,00	149,13	51,23	74,69	100,81
N_{160}	133,06	197,32	193,60	125,65	89,21	158,58	79,98	122,82	124,89
N_{240}	123,63	213,90	199,02	99,08	95,78	158,43	81,24	98,04	132,53
Szignifikancia szintek (F-értékre)									
N		***			***			***	
F		***			***			***	
NxF		***			***			***	
LAD_{zl} (cm² nap)									
N_0	532,58	486,84	488,17	498,66	436,55	558,67	368,45	349,02	412,14
N_{80}	574,45	567,99	549,49	626,50	684,63	678,30	476,76	568,31	553,40
N_{160}	666,75	572,35	622,98	907,47	825,24	858,04	483,19	654,13	674,53
N_{240}	650,14	624,01	636,70	806,05	826,49	925,03	602,34	611,32	776,91
Szignifikancia szintek (F-értékre)									
N		***			***			***	
F		***			***			***	
NxF		NS			***			**	

Szignifikancia szintek: **P=1%, ***P=0,1%, NS=nem szignifikáns

A zászlóslevél levélterület tartóssága (LAD_{zl}) N-kezelésenként és fajtánként egyaránt eltérően alakult. Az értékek az N_0 kezelésben voltak a legalacsonyabbak, és a N-dózis emelkedésével nőttek. A zászlóslevél LAD értéke a N-műtrágyázás hatására, a fajták átlagában

2007-ben és 2008-ban az N₁₆₀ (620,7 és 863,6 cm² nap) 2009-ben az N₂₄₀ kezelésben volt a legnagyobb (663,5 cm² nap). 2008 és 2009 években, illetve az évek és N-kezelések átlagában az Mv Verbunkos LAD_{z1} értéke (644,5) meghaladta a másik két fajtáét (599,5 és 600,6 cm² nap). A zászlóslevél LAD értéke az N-kezelések és a fajták átlagában 2008-ban volt a legnagyobb (719,30), ennél alacsonyabb értéket ért el 2007-ben (581,04) és a legkisebb 2009-ben (544,21) volt.

5.4.4. A biomassa tartóssága (BMD)

A biomassa tartósság (BMD) a növényállomány vitalitását jellemző mutató (Kvet et al, 1969). A nitrogén műtrágyázás hatását a búzafajták biomassa tartósságára (BMD) 2007-2009 években a 28. táblázat mutatja be.

A BMD mindhárom évben hasonló N-műtrágya reakciót mutatott. Értéke az N₀ kezelésben volt a legkisebb, a fajták és az évek átlagában 160,4 g nap, a növekvő N-dózisokkal értéke szignifikánsan nőtt, és az N₂₄₀ kezelésben volt a legnagyobb (232,4 g nap). A fajtahatás az évek szerint eltérő volt. A N-kezelések átlagában 2007-ben és 2009-ben az Mv Toborzó érte el a legnagyobb BMD értéket (266,8 és 187,7 g nap értékkel), míg a kedvező 2008-as évben az Mv Verbunkos mutatta a legmagasabb értéket (198,4 g nap). A BMD jellemzően az aszályos 2007-es évben volt a legnagyobb (248,0 g nap), kedvezőbb évjáratokban ennél jóval kisebb (193,0 és 178,1 g nap) értéket mutatott.

28. táblázat. A N-műtrágya kezeléseket hatása a búzafajták biomassa tartósságára (BMD) 2007-2009-ben

N-dózis	[g nap]								
	2007			2008			2009		
	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos
N ₀	213,74	184,39	202,34	152,87	134,84	158,03	134,85	132,58	130,13
N ₈₀	263,08	229,10	237,54	184,16	202,53	203,06	188,31	183,56	172,47
N ₁₆₀	287,26	258,39	258,47	204,50	208,29	210,53	216,56	198,18	188,19
N ₂₄₀	302,95	265,89	273,00	220,37	215,52	221,85	210,93	196,61	184,60
Szignifikancia szintek (F-értékre)									
N		***			***			***	
F		***			***			***	
NxF		**			***			***	

Szignifikancia szintek: **P=1%, ***P=0,1%

5.4.5. A harvest index (HI)

A harvest index (HI) alakulására az N-kezelésnek mindhárom évben, a fajtának 2008-ban és 2009-ben volt szignifikáns hatása (29. táblázat).

A HI értéke a N-kezelés hatására nőtt, átlagosan az N₁₆₀ kezelésben volt a legnagyobb (43,9%), értéke csökkenő sorrendben N₂₄₀: 43,1, N₈₀: 42,2, N₀: 40,3% volt. A HI átlagos értéke az Mv Palotásnál 43,5%, az Mv Verbunkosnál 42,9%, az Mv Toborzónál 40,8% volt. Az N-kezelés és a fajta között 2009-ben kölcsönhatás volt. A HI átlagosan 2009-ben 44,1%-kal volt a legnagyobb, értéke 2007-ben és 2008-ban hasonlóképpen alakult (41,8 és 41,3%).

29. táblázat. A N-kezelések hatása a búzafajták harvest index (HI) értékére 2007-2009-ben (%)

N-dózis	2007			2008			2009		
	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos	Toborzó	Palotás	Verbunkos
N ₀	39	39	37	39	41	40	41	43	44
N ₈₀	39	44	42	40	43	42	42	45	43
N ₁₆₀	44	46	43	41	43	43	42	47	46
N ₂₄₀	42	42	44	40	42	42	40	47	49
Szignifikancia szintek (F-értékre)									
N		***			*				**
V		NS			*				***
NxV		NS			NS				*

Szignifikancia szintek: ***P=0,1%, **P=1%, *P=5%, NS= nem szignifikáns

5.5. Korrelációs és összefüggés vizsgálatok

5.5.1. Korrelációs vizsgálatok

A terméskomponensek, a növekedési mutatók és az egyes morfológiai paraméterek, valamint a termés közötti összefüggéseket parciális korrelációval vizsgáltuk. A parciális korreláció két változó közötti összefüggést jellemzi oly módon, hogy a két változó összefüggéséből a többi változó hatását kiiktatja (Sváb, 1967).

Korreláció a termés, a terméskomponensek és a növényegyed növekedési mutatói között

A korrelációs vizsgálatokba a termés mellett a terméskomponensek közül a kalászonkénti szemszámot és az ezerszemtömeget, a növényegyed növekedési mutatói közül az AGR, az RGR,

a NAR, a LAR átlagértékét, a zászlóslevél LAD értékét, valamint a harvest indexet és a BMD-t vontuk be (30. táblázat).

A növényenkénti terméssel a terméskomponensek közül a kalászonkénti szemszám igen szoros ($r=0,95$) és az ezerszemtömeg szoros ($r=0,81$) pozitív összefüggésben ($P=0,1\%$ -os szinten), a növekedési mutatók közül a $NAR_{\text{átl}}$ és a $LAR_{\text{átl}}$ laza pozitív összefüggésben ($P=5\%$ mellett) állt. A kalászonkénti szemszám és az ezerszemtömeg között szoros negatív kapcsolat volt ($r= -0,88$; $P=0,1\%$ -os szinten). A kalászonkénti szemszámmal közepes pozitív összefüggést mutatott a zászlóslevél LAD értéke ($r=0,52$; $P=0,1\%$ -os szinten). Az ezerszemtömeggel az $AGR_{\text{átl}}$ $P=0,1\%$ -os szinten közepes pozitív, a zászlóslevél LAD értéke $P= 5\%$ -os szinten laza pozitív összefüggést, a $NAR_{\text{átl}}$ $P=0,1\%$ -os szinten, a $LAR_{\text{átl}}$ és a BMD $P=1\%$ -os szinten közepes negatív összefüggést mutatott.

30. táblázat. A növényenkénti termés, a terméskomponensek és a növekedési mutatók közötti parciális korrelációk ($n=36$)

	Szemsz.	Eszt.	$AGR_{\text{átl}}$	$RGR_{\text{átl}}$	$NAR_{\text{átl}}$	$LAR_{\text{átl}}$	LAD _{zl.}	HI	BMD	Term.
Szemsz.	-									
Eszt.	-0,873 ^{***}	-								
$AGR_{\text{átl}}$	0,370 [*]	0,593 ^{***}	-							
$RGR_{\text{átl}}$	-0,014 ^{NS}	-0,155 ^{NS}	0,446 ^{**}	-						
$NAR_{\text{átl}}$	-0,484 ^{**}	-0,521 ^{***}	0,366 [*]	0,529 ^{***}	-					
$LAR_{\text{átl}}$	-0,499 ^{**}	-0,498 ^{**}	0,365 [*]	0,496 ^{**}	-0,937 ^{***}	-				
LAD _{zl.}	0,519 ^{***}	0,363 [*]	-0,335 [*]	-0,172 ^{NS}	0,446 ^{**}	0,557 ^{***}	-			
HI	0,320 ^{NS}	0,110 ^{NS}	0,097 ^{NS}	-0,528 ^{***}	0,581 ^{***}	0,499 ^{**}	-0,337 [*]	-		
BMD	-0,410 [*]	-0,456 ^{**}	0,759 ^{***}	-0,206 ^{NS}	-0,398 [*]	-0,401 [*]	0,687 ^{***}	0,172 ^{NS}	-	
Term.	0,948 ^{***}	0,813 ^{***}	-0,247 ^{NS}	0,146 ^{NS}	0,343 [*]	0,369 [*]	-0,328 [*]	-0,223 ^{NS}	0,216 ^{NS}	-

Szignifikancia szintek: * $P=5\%$, ** $P=1\%$, *** $P=0,1\%$, ^{NS}=nem szignifikáns
Szemsz.: kalászonkénti szemszám, Eszt.: ezerszemtömeg, Term.: termés.

Az $AGR_{\text{átl}}$ $P=0,1\%$ -os szinten szoros pozitív összefüggésben állt a BMD-vel, valamint $P=1$ és 5% -os szinten közepes-laza pozitív összefüggésben az RGR, a NAR és a LAR átlagértékével. Az $RGR_{\text{átl}}$ közepes pozitív kapcsolatban állt komponenseivel, a $NAR_{\text{átl}}$ és a $LAR_{\text{átl}}$ értékekkel. A $NAR_{\text{átl}}$ és a $LAR_{\text{átl}}$ között igen szoros negatív összefüggés volt ($P=0,1\%$ mellett $r = -0,94$). A zászlóslevél LAD értéke $P=0,1\%$ -os szinten közepes pozitív összefüggést mutatott a BMD és $LAR_{\text{átl}}$, valamint $P=1\%$ -os szinten a $NAR_{\text{átl}}$ értékekkel.

Korreláció a termés, a terméskomponensek és a növényállomány növekedési mutatói között

A korrelációs vizsgálatokba a termés mellett a terméskomponensek közül a m^2 -enkénti kalászszaámot, a m^2 -enkénti szemszaámot és az ezerszemtömeget, a növényállomány növekedési mutatói közül a NAR és a CGR átlagos értékét, a LAI_{max} és a zászlóslevél LAD értéket, valamint a harvest indexet vontuk be (31. táblázat).

A parciális korreláció alapján a terméssel a terméskomponensek közül a négyzetméterenkénti szemszaám közepes ($r=0,66$; $P=0,1\%$ -os szinten) pozitív összefüggést mutatott, a m^2 -enkénti kalászszaám és az ezerszemtömeg hatása nem volt szignifikáns. A növekedési mutatók közül a LAI_{max} laza ($r=0,34$; $P=5\%$ -os szinten) és a harvest index közepes ($r=0,40$; $P=5\%$ -os szinten) pozitív összefüggést mutatott a terméssel. A $NAR_{\text{átl}}$, a $CGR_{\text{átl}}$ és a $LAD_{\text{zászlóslevél}}$ hatása a termésre nem volt szignifikáns.

31. táblázat. A növényállomány termése, terméskomponensei és növekedési mutatói közötti parciális korrelációk ($n=36$)

	Kalász m^{-2}	Eszt.	$NAR_{\text{átl}}$	LAI_{max}	$CGR_{\text{átl}}$	$LAD_{\text{zászlóslevél}}$	HI	Szem m^{-2}	Termés
Kalász m^{-2}	-								
Eszt.	0,252 ^{NS}	-							
$NAR_{\text{átl}}$	0,042 ^{NS}	-0,391*	-						
LAI_{max}	0,345*	-0,363*	-0,414*	-					
$CGR_{\text{átl}}$	0,059 ^{NS}	0,531***	0,456**	0,576***	-				
$LAD_{\text{zászlóslevél}}$	0,261 ^{NS}	-0,172 ^{NS}	-0,136 ^{NS}	0,414*	-0,031 ^{NS}	-			
HI	0,353*	-0,333*	0,295 ^{NS}	-0,101 ^{NS}	0,031 ^{NS}	-0,163 ^{NS}	-		
Szem m^{-2}	-0,045 ^{NS}	-0,287 ^{NS}	0,090 ^{NS}	-0,460**	0,263 ^{NS}	0,551***	-0,161 ^{NS}	-	
Termés	-0,191 ^{NS}	0,107 ^{NS}	-0,077 ^{NS}	0,338*	0,066 ^{NS}	-0,109 ^{NS}	0,400*	0,657***	-

Szignifikancia szintek: * $P=5\%$, ** $P=1\%$, *** $P=0,1\%$, ^{NS}=nem szignifikáns

Kalász m^{-2} : 1 m^2 -re eső kalászszaám, Eszt.: ezerszemtömeg, Szem m^{-2} : 1 m^2 -re eső szemek száma

A m^2 -enkénti kalászszaámmal a LAI_{max} és a HI ($P=5\%$ -os szinten) pozitív összefüggést mutatott. Az ezerszemtömeeggel a CGR közepes pozitív ($r=0,53$; $P=0,1\%$), a $NAR_{\text{átl}}$, a LAI_{max} és a HI laza negatív összefüggést mutatott. A m^2 -enkénti szemszaámmal közepes, pozitív összefüggést mutatott a zászlóslevél LAD értéke ($r=0,55$; $P=0,1\%$ -os szinten), és közepes negatív összefüggést a LAI_{max} ($P=1\%$ -os szinten). 5% -os szinten laza pozitív összefüggés volt a LAI_{max} és a zászlóslevél LAD értéke között.

A $CGR_{\text{átl}}$ közepes pozitív összefüggést mutatott ($P=1\%$ és $P=0,1\%$ -os szinten) komponenseivel, a $NAR_{\text{átl}}$ és LAI_{max} értékekkel. Ugyanakkor a $NAR_{\text{átl}}$ és a LAI_{max} között ($P=5\%$ -os szinten) negatív összefüggés volt.

Korreláció a morfológiai paraméterek és a termés között

A korrelációs vizsgálatokba a termés mellett a morfológiai paraméterek közül a növényenkénti levélterületet, az egész növény, a kalász, a levél és a szár száraztömegét, a terméskomponensek közül a kalászonkénti szemszámot és az ezerszemtömeget vontuk be (32. táblázat).

A parciális korreláció alapján a morfológiai paraméterek és a növényenkénti termés között nem volt szignifikáns összefüggés. A levélterület ugyanakkor laza pozitív korrelációt mutatott a kalászonkénti szemszámmal ($P=5\%$ -os szinten) és közepes pozitív összefüggést az ezerszemtömegegél ($P=0,1\%$ -os szinten). A növény száraztömege a kalász száraztömegével $P=0,1\%$ -os szinten szoros, a levél száraztömegével $P=1\%$ -os szinten közepes, a szár száraztömegével $P=5\%$ -os szinten laza pozitív korrelációt mutatott.

32. táblázat. A morfológiai jellemzők és a növényenkénti termés és terméskomponensek közötti parciális korrelációk ($n=36$)

	Szemszám	Ezerszemt.	Levélter.	Növényt.	Kalászt.	Levélt.	Szárt.	Termés
Szemszám	-							
Ezerszemt.	-0,837***	-						
Levélter.	0,365*	0,566***	-					
Növényt.	0,247 ^{NS}	0,188 ^{NS}	-0,457**	-				
Kalászt.	-0,284 ^{NS}	-0,221 ^{NS}	0,518***	0,829***	-			
Levélt.	-0,310 ^{NS}	-0,552***	0,815***	0,459**	-0,419**	-		
Szárt.	0,004 ^{NS}	0,077 ^{NS}	0,073 ^{NS}	0,354*	0,031 ^{NS}	0,160 ^{NS}	-	
Termés	0,955***	0,703***	-0,174 ^{NS}	-0,187 ^{NS}	0,301 ^{NS}	0,108 ^{NS}	-0,081 ^{NS}	-

Szignifikancia szintek: * $P=5\%$, ** $P=1\%$, *** $P=0,1\%$, ^{NS}=nem szignifikáns

Levélter.: levélterület, Növényt.: növénytömeg, Kalásztöm.: kalásztömeg, Levélt.: levéltömeg, Szárt.: szártömeg

A levélterület $P=0,1\%$ -os szinten szoros pozitív korrelációt ($r=0,82$) mutatott a levél tömegével és közepes pozitív korrelációt a kalász száraztömegével.

5.5.2. Regresszióanalízis

5.5.2.1. Kétfváltozós regresszióanalízis

Kétfváltozós lineáris regresszióanalízis a termés és a növekedési mutatók között

Kétfváltozós lineáris regresszióanalízissel vizsgáltuk a termés (függő változó) és a növekedési mutatók (független változó) közötti összefüggést az összes adatra (n=36), illetve N-kezelésenként, fajtánként és évenként. Szignifikáns összefüggést kaptunk a termés és a $CGR_{\text{átl}}$, a termés és a LAD, illetve a BMD között. A növekedési mutatók és a termés összefüggése N-kezelésenként, fajtánként, illetve évenként különbözött.

A $CGR_{\text{átl}}$ és a termés közötti kétfváltozós regresszióanalízis eredménye az 33. táblázatban található. A CGR átlagértéke 2007-ben P=1%-os szinten és 2008-ban P =0,1%-os szinten szignifikáns összefüggést mutatott a terméssel. Az R^2 alapján a $CGR_{\text{átl}}$ az aszályos 2007-es évben 45,6%-ban, a kedvező 2008-as évben 80,6%-ban értelmezte a termés varianciáját. Az összefüggés 2009-ben nem volt szignifikáns. A $CGR_{\text{átl}}$ hatása a termésre fajtánként is szignifikáns volt (34. táblázat). Az R^2 alapján a $CGR_{\text{átl}}$ az Mv Toborzónál 27,2%-ban, az Mv Palotásnál 81,2%-ban, az Mv Verbunkosnál pedig 44,8%-ban magyarázta meg a termés varianciáját. A CGR hatása a termésre N-kezelésenként nem volt szignifikáns.

33. táblázat. A $CGR_{\text{átl}}$ és a termés közötti kétfváltozós regresszióanalízis varianciatáblázata évenként (az N-kezelések és a fajták átlagában)

Tényező	FG	MQ		
		2007	2008	2009
Regresszió	1	3,29**	14,08***	1,83 ^{NS}
Maradék	10	0,32	0,30	0,55
Összes	11	0,59	1,55	0,66

Szignifikancia szintek: **P=1%, ***P=0,1%, ^{NS}=nem szignifikáns

A termés és LAD_{LAI} közötti összefüggés évenként szignifikáns volt (35. táblázat). Az R^2 alapján a LAD_{LAI} a kedvező 2008-as és 2009-es évjáratban 73,7 és 61,7%-ban, a kedvezőtlen 2007-ben 52,9%-ban magyarázta a termés varianciáját. A LAD_{LAI} hatása a termésre a N_{240} -kezelésben P=5%-os szinten szignifikáns volt, az R^2 alapján 47,2%-ban értelmezte a termés varianciáját. A LAD_{LAI} és a termés között fajtánként nem volt szignifikáns összefüggés.

34. táblázat: A $CGR_{\text{át}}$ és a termés közötti kétváltozós regresszióanalízis varianciatáblázata fajtánként (az N-kezelések és az évek átlagában)

Tényező	FG	MQ		
		Mv Toborzó	Mv Palotás	Mv Verbunkos
Regresszió	1	4,21*	10,23***	6,93**
Maradék	10	0,82	0,21	0,70
Összes	11	1,13	1,12	1,26

Szignifikancia szintek: *P=5%, **P=1%, ***P=0,1%

A termés és a zászlóslevél LAD értéke között P=0,1%-os szinten szignifikáns összefüggést kaptunk ($R^2 = 47,8\%$) a három év összes adatára (n=36). Szignifikáns volt az összefüggés évenként is (36. táblázat). Az R^2 alapján a LAD_{z1} kedvező években (2008 és 2009) 62,0 és 74,6%-ban, míg az aszályos 2007-es évben 41,6%-ban magyarázta meg a termés varianciáját. A LAD_{z1} és a termés között N-kezelésenként és fajtánként nem volt szignifikáns összefüggés.

35. táblázat: A termés és a LAD_{LAI} közötti kétváltozós regresszióanalízis varianciatáblázata évenként (az N-kezelések és a fajták átlagában)

Tényező	FG	MQ		
		2007	2008	2009
Regresszió	1	3,72**	13,00***	4,75***
Maradék	10	0,28	0,41	0,25
Összes	11	0,59	1,55	0,66

Szignifikancia szintek: *P=5%, **P=1%, ***P=0,1%, ^{NS}=nem szignifikáns

36. táblázat: A termés és a $LAD_{\text{zászlóslevél}}$ közötti kétváltozós regresszióanalízis varianciatáblázata évenként és a három év átlagában (a N-kezelések és a fajták átlagában)

Tényező	FG	MQ			FG	MQ
		2007	2008	2009		
Regresszió	1	3,05*	11,18***	5,60***	1	19,96***
Maradék	10	0,35	0,59	0,17	34	0,60
Összes	11	0,59	1,55	0,66	35	1,16

Szignifikancia szintek: *P=5%, ***P=0,1%

Eredmények és értékelésük

A BMD hatása a termésre az összes adatot figyelembe véve (n=36) nem volt szignifikáns, azonban 2007-ben és 2009-ben P=5%-os szinten, 2008-ban pedig P=0,1%-os szinten szignifikáns volt (37. táblázat). A többszörös korrelációs koefficiens (R^2) értéke 2007-ben és 2009-ben 44,5, ill. 42,4%-ban, 2008-ban 86,1%-ban magyarázta a termés varianciáját.

37. táblázat. A termés és a BMD közötti kétváltozós regresszióanalízis varianciatáblázata évenként (az N-kezelések és a fajták átlagában)

Tényező	FG	MQ		
		2007	2008	2009
Regresszió	1	3,22*	14,93***	2,81*
Maradék	10	0,33	0,22	0,45
Összes	11	0,59	1,55	0,66

Szignifikancia szintek: *P=5%, ***P=0,1%

Kétváltozós lineáris regresszióanalízis a növekedési mutatók között

Pozitív összefüggést találtunk az integrál növekedési mutatók, vagyis a levélterület-tartósság és a biomassa-tartósság között a három év adatai alapján. A LAD és a BMD közötti lineáris összefüggést a 14.A ábra mutatja. Az R^2 alapján a LAD 78,4%-ban magyarázta meg a BMD változását.

A három év alapján P=0,1%-os szinten igen szoros összefüggés volt a levélterület abszolút növekedési sebessége ($ALGR_{max}$) és a levélterület index maximális értéke (LAI_{max}) között (14.B ábra). Az $ALGR_{max}$ 79,6%-ban magyarázta meg a LAI_{max} változását.

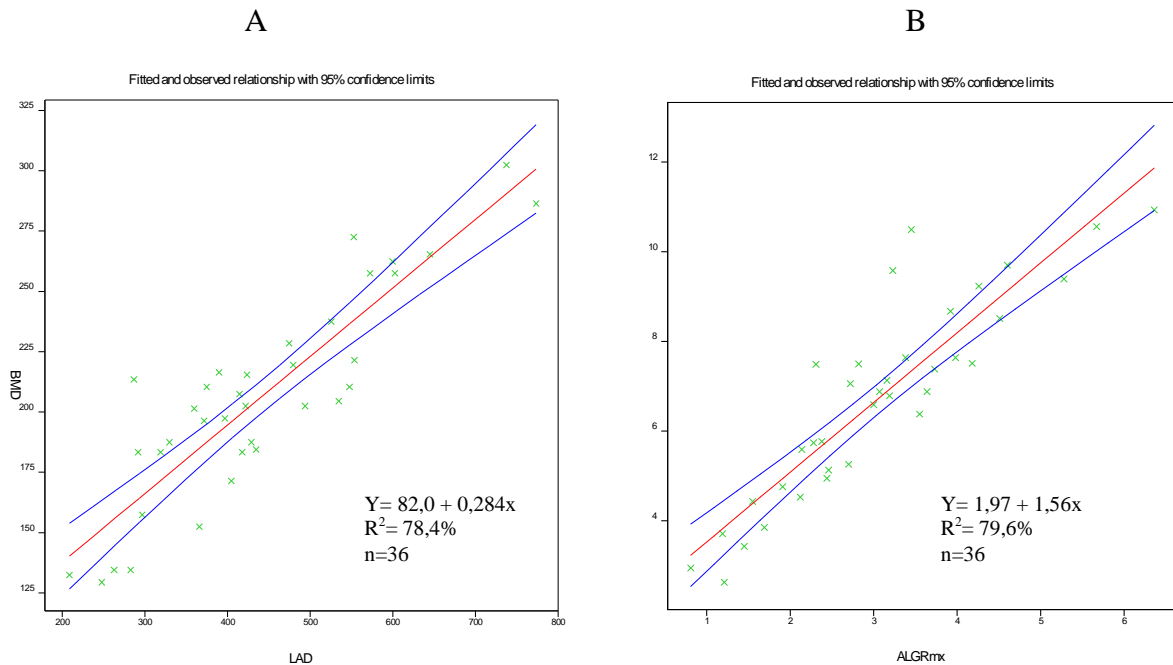
Évenként szignifikáns összefüggést kaptunk a szárazanyag abszolút növekedése ($AGR_{\text{át}}$) és a biomassa-tartósság (BMD) között (38. táblázat).

38. táblázat. Az $AGR_{\text{át}}$ és a BMD közötti kétváltozós regresszióanalízis varianciatáblázata évenként (az N-kezelések és a fajták átlagában)

Tényező	FG	MQ		
		2007	2008	2009
Regresszió	1	13124,5***	9003,9***	8693,3***
Maradék	10	62,44	25,8	117,6
Összes	11	1249,9	842,0	897,2

Szignifikancia szintek: ***P=0,1%

Az R^2 alapján az $AGR_{\text{átl}}$ 2007-ben 95%-ban, 2008-ban 96,9%-ban és 2009-ben 86,9%-ban magyarázta meg a BMD variációját. A három év átlagában az összefüggés nem volt szignifikáns.



14. ábra.

A: A levélfelület tartósság (LAD) és a biomassa tartósság (BMD) közötti lineáris összefüggés a három év adatai alapján

B: A levélfelület abszolút növekedési sebessége ($ALGR_{\text{max}}$) és a levélfelület index (LAI_{max}) közötti lineáris összefüggés a három év adatai alapján

Két független változós regresszióanalízis a termés és a terméskomponensek között

Regresszióanalízissel vizsgáltuk a termés és a terméskomponensek (a m^2 -enkénti szemszám és az ezerszemtömeg) közötti összefüggést a különböző években, fajtáknál és N-szinteken. Az évenkénti és a fajtánkénti vizsgálatokra nem kaptunk szignifikáns összefüggést. Az N-műtrágyázás hatását vizsgálva az N-trágyázás nélküli kezelésben nem volt szignifikáns összefüggés, míg a többi N-kezelésben az összefüggés szignifikáns volt (39. táblázat). Az N-kezelések hatásával az R^2 értékek alapján az N_{80} kezelésben 54,9%-ban, az N_{160} kezelésben 88,6%-ban és az N_{240} kezelésben 76,9%-ban tudtuk értelmezni a termés variációját. A két terméskomponens közül a standardizált regressziós koefficiens (β) értéke alapján mindegyik N-műtrágyázott kezelésben a m^2 -enkénti szemszám hatása volt meghatározó.

Eredmények és értékelésük

39. táblázat. Az őszi búza termése és terméskomponensei (m²-enkénti szemszám, ezersejtméreg) közötti két független változós regresszióanalízis eredménye N-kezelésenként

Termés- komponens	N ₀		N ₈₀		N ₁₆₀		N ₂₄₀	
	β	t-érték	β	t-érték	β	t-érték	β	t-érték
Szemszám /m ²	0,161	0,215 ^{NS}	0,836	3,045*	0,871	5,190**	0,907	4,616**
Ezersejtméreg	-0,215	0,289 ^{NS}	0,046	0,169 ^{NS}	-0,116	-0,691 ^{NS}	0,004	-0,022 ^{NS}
	R ² = -0,158		R ² = 0,549		R ² = 0,886		R ² =0,769	
	F-érték <1		F-érték = 5,87*		F-érték = 32,08***		F-érték =14,32**	

β= standardizált regressziós koefficiens. Szignifikancia szintek: *P=5%, **P=1%, NS=nem szignifikáns

Két független változós regresszióanalízis a növekedési sebességek (RGR, CGR) és komponenseik között

A három év átlagában (n=36) szignifikáns összefüggést találtunk az RGR_{átl} és annak két komponense, a NAR_{átl} és a LAR_{átl} között. A két komponens P=0,1%-os valószínűség mellett 83,6%-ban értelmezte az RGR_{átl} variációját. A két paraméter hatása az RGR_{átl} alakulásában a β értéke alapján hasonló volt (40. táblázat).

40. táblázat. Az RGR_{átl} és komponensei (NAR_{átl} és a LAR_{átl}) közötti regresszióanalízis varianciatáblázata a három év átlagában

Tényező	FG	SQ	MQ
Regresszió	2	5,22	2,61***
Hiba	33	0,95	0,03
Összes	35	6,18	0,18
Változó	b-érték	β	t-érték
Konstans	-2,06		-5,27***
NAR _{átl}	0,91	0,948	11,99***
LAR _{átl}	0,02	0,889	11,25***
		R ² = 0,836	

b-érték: regressziós koefficiens, β: standardizált regressziós koefficiens; Szignifikancia szintek: ***P=0,1%

Mindegyik vizsgált évben és a három év átlagában P=0,1%-os szinten szignifikáns pozitív összefüggés volt a CGR_{max}, valamint annak komponensei, a NAR_{átl} és a LAI_{max} között. A

regresszióanalízis varianciatáblázata a 41. táblázatban látható. A $NAR_{\text{átl}}$ és a LAI_{max} együttesen 58,8%-ban határozták meg a CGR_{max} varianciáját. A két komponens közül mindhárom évben a LAI_{max} hatása volt meghatározó, az évek átlagában a β érték alapján több, mint négyszerese volt a $NAR_{\text{átl}}$ hatásának (42. táblázat).

41. táblázat. A CGR_{max} és komponensei ($NAR_{\text{átl}}$, LAI_{max}) közötti regresszióanalízis varianciatáblázata évenként és az évek átlagában

Tényező	MQ			FG		
	2007	2008	2009	2007-2009	2007-2009	
Regresszió	2	92,20***	207,29***	345,77**	2	546,00***
Maradék	9	4,61	5,86	31,67	33	21,03
Összes	11	20,54	42,49	88,78	35	51,02

Szignifikancia szintek: **P=1%, ***P=0,1%

42. táblázat. A CGR_{max} és komponensei ($NAR_{\text{átl}}$, LAI_{max}) közötti regresszióanalízis eredménye évenként és az évek átlagában

CGR komponensei	2007		2008		2009		2007-2009	
	β	t-érték	β	t-érték	β	t-érték	β	t-érték
$NAR_{\text{átl}}$	0,238	1,59 ^{NS}	0,046	0,40 ^{NS}	0,277	1,53 ^{NS}	0,199	1,76 ^{NS}
LAI_{max}	0,805	5,39***	0,953	8,22***	0,823	4,55***	0,817	7,20***
	$R^2=0,775$		$R^2=0,862$		$R^2=0,643$		$R^2=0,588$	

b-érték: a regressziós koefficiens; β = standardizált regressziós koefficiens

Szignifikancia szintek: ***P=0,1%, NS=nem szignifikáns

5.5.2.2. Többszörös regresszióanalízis

Többszörös regresszióanalízissel vizsgáltuk a termés, terméskomponensek, a növekedési mutatók és az egyes morfológiai paraméterek közötti összefüggéseket. A független változóknak a termésre kifejtett önálló, illetve együttes hatását a változók kiválasztásának stepwise módszerével határoztuk meg. A változók kiválasztásának kritériumaként az R^2 , a korrigált R^2 (\bar{R}^2), a C_p , valamint az AIC (Akaike információs kritérium) mutatókat használtuk. A program a R^2 és korrigált R^2 mutatók maximális, illetve a C_p , valamint AIC mutatók minimális értéke

alapján választja ki a változókat. A módszer célja azoknak a változóknak az azonosítása és kiválasztása, amelyek legjobban megmagyarázzák a függő változó variációját.

A növényenkénti termést meghatározó paraméterek regresszióanalízise

A növényenkénti termés és a növényegyed növekedési mutatói, valamint a terméskomponensek közötti „All possible subset selection” többszörös regresszióanalízis eredménye a 43. táblázatban látható. A LAD és a NAR mutatók felhasználhatók a növényállomány, illetve növényegyed növekedésanalízisében egyaránt, ezért ezeket a paramétereket a növényegyed vizsgálatába is bevontuk.

43. táblázat. A növényenkénti termés, a terméskomponensek és a növekedési mutatók közötti többszörös regresszióanalízis eredménye a változók kiválasztásának „stepwise” módszerével

Változók száma	Változó neve	R ²	\bar{R}^2	C _p	AIC
1	Szemszám kalász ⁻¹	0,936***	0,934***	139,88	175,9
1	RGR _{átl}	0,793***	0,787***	521,78	557,8
1	AGR _{átl}	0,583***	0,571***	1082,32	1118,3
1	LAD _{zászlóslévél}	0,309***	0,288***	1815,88	1851,9
1	LAR _{átl}	0,222**	0,199**	2047,62	2083,6
1	Ezerszemtömeg	0,160*	0,135*	2213,09	2249,1
1	NAR _{átl}	0,116*	0,091*	2329,88	2365,9
1	HI	0,089 ^{NS}	0,063 ^{NS}	2402,2	2438,2
2	Szemszám kalász ⁻¹ , Ezerszemtömeg	0,982***	0,981***	18,10	54,1
2	Szemszám kalász ⁻¹ , RGR _{átl}	0,951***	0,948***	100,74	136,7
2	Szemszám kalász ⁻¹ , AGR _{átl}	0,950***	0,947***	103,89	139,9
2	Szemszám kalász ⁻¹ , HI	0,944***	0,941***	118,92	154,9
3	Szemszám kalász ⁻¹ , Ezerszemtömeg, RGR _{átl}	0,988***	0,987***	4,86	40,9
3	Szemszám kalász ⁻¹ , AGR _{átl} , HI	0,961***	0,958***	75,15	111,1
4	Szemszám kalász ⁻¹ , Ezerszemtömeg, NAR _{átl} , LAR _{átl}	0,986***	0,985***	10,60	46,6
4	Szemszám kalász ⁻¹ , Ezerszemtömeg, AGR _{átl} , BMD	0,986***	0,984***	12,55	48,5

R²: többszörös determinációs együttható, \bar{R}^2 : korrigált R² érték, C_p: C_p kritérium, AIC érték: Akaike információs kritérium
 Szignifikancia szintek: *P=5%, **P=1%, ***P=0,1%, ^{NS}=nem szignifikáns

A regresszióanalízis során 9 független változót vizsgáltunk, melyek közül a növényenkénti termést külön-külön meghatározó független változók (csökkenő R² szerint) a

kalászonkénti szemszám, az $RGR_{\text{átl}}$, az $AGR_{\text{átl}}$, a zászlóslevél LAD értéke, a $LAR_{\text{átl}}$, az ezerszemtömeg és a $NAR_{\text{átl}}$. Megállapítható, hogy az R^2 alapján a termést egy-egy független változó bevonásakor legjobban meghatározza a kalászonkénti szemszám ($R^2 = 0,936$), az $RGR_{\text{átl}}$ ($R^2 = 0,793$) és az $AGR_{\text{átl}}$ ($R^2 = 0,583$). A termést együttesen legjobban meghatározó két független változó a kalászonkénti szemszám és az ezerszemtömeg.

A regresszió egyenlete: $Y = -1,136 + 0,0434_{\text{Szemszám}} + 0,02492_{\text{Ezerszemtömeg}}$.

Ezt követi (csökkenő R^2 szerint) a kalászonkénti szemszám és az $RGR_{\text{átl}}$, a kalászonkénti szemszám és az $AGR_{\text{átl}}$, valamint a kalászonkénti szemszám és a harvest index. A termést együttesen legjobban meghatározó három független változó a kalászonkénti szemszám, az ezerszemtömeg és az $RGR_{\text{átl}}$. Az összefüggés regressziós egyenlete:

$$Y = -1,486 + 0,03841_{\text{Szemszám}} + 0,02280_{\text{Ezerszemtömeg}} + 0,1907_{\text{RGR}_{\text{átl}}}$$

Ezt követi (csökkenő R^2 szerint) a kalászonkénti szemszám, az $AGR_{\text{átl}}$ és a harvest index. A termést együttesen legjobban meghatározó négy független változó a kalászonkénti szemszám, az ezerszemtömeg, a $NAR_{\text{átl}}$ és a $LAR_{\text{átl}}$. A regresszió egyenlete:

$$Y = -1,856 + 0,04079_{\text{Szemszám}} + 0,02584_{\text{Ezerszemtömeg}} + 0,1433_{\text{NAR}_{\text{átl}}} + 0,00334_{\text{LAR}_{\text{átl}}}$$

Ezt követi (csökkenő R^2 szerint) a kalászonkénti szemszám, az ezerszemtömeg, az $AGR_{\text{átl}}$ és a BMD.

A növényállomány termését meghatározó paraméterek regresszióanalízise

A ha-onkénti termés, a terméskomponensek és a növényállomány növekedési mutatói közötti „All possible subsets selection” stepwise regresszióanalízis eredménye a 44. táblázatban látható.

A regresszióanalízis során nyolc független változót vizsgáltunk. A ha-onkénti termést külön-külön meghatározó, független változók (csökkenő R^2 szerint) a négyzetméterenkénti szemszám, a zászlóslevél LAD értéke, a $CGR_{\text{átl}}$, a LAI_{max} , a harvest index, az ezerszemtömeg és a m^2 -enkénti kalászok száma. A termést együttesen legjobban meghatározó két független változó a négyzetméterenkénti szemszám és a LAI_{max} . A regresszió egyenlete:

$$Y = 4,448 + 0,1370_{\text{LAI}_{\text{max}}} + 0,0000893_{\text{Szemszám}}$$

Ezt követi (csökkenő R^2 szerint) a négyzetméterenkénti szemszám és a $CGR_{\text{átl}}$, valamint a zászlóslevél LAD értéke és a harvest index. Az R^2 értéke 0,789 és 0,629 között változott. A termést együttesen meghatározó három független változó a LAI_{max} , a harvest index és a négyzetméterenkénti szemszám. A regressziós egyenlet:

$$Y = 0,67 + 0,1849_{\text{LAI}_{\text{max}}} + 0,04914_{\text{Szemszám}} + 0,0847_{\text{HI}}$$

Eredmények és értékelésük

44. táblázat. A növényállományra vonatkozó termés, terméskomponensek és növekedési mutatók közötti többszörös regresszióanalízis eredménye a változók kiválasztásának „stepwise” módszerével

Változók száma	Változók megnevezése	R ²	\bar{R}^2	C _p	AIC
1	Szemszám m ⁻²	0,721***	0,712***	13,90	49,9
1	LAD _{zászlólevél}	0,493***	0,478***	51,28	87,3
1	CGR _{átl}	0,429***	0,412***	61,89	98,9
1	LAI _{max}	0,324***	0,304***	79,06	115,1
1	HI	0,256**	0,234**	90,29	126,3
1	Ezerszemtömeg	0,194**	0,171**	100,38	136,4
1	Kalászsorszám m ⁻²	0,130*	0,104*	110,99	145,0
1	NAR _{átl}	0,044 ^{NS}	0,015 ^{NS}	125,14	161,14
2	Szemszám m ⁻² , LAI _{max}	0,789***	0,776***	4,73	40,7
2	Szemszám m ⁻² , CGR _{átl}	0,773***	0,759***	7,30	43,3
2	LAD _{zászlólevél} , HI	0,629***	0,607***	30,90	66,9
3	Szemszám m ⁻² , LAI _{max} , HI	0,819***	0,802***	1,68	37,7

R²: determinációs együttható, \bar{R}^2 : korrigált R² érték C_p: C_p kritérium, AIC érték: Akaike információs kritérium
Sznifkancia szintek: *P=5%, **P=1%, ***P=0,1%, ^{NS}=nem sznifkians

A növényenkénti szemtermést meghatározó morfológiai paraméterek regresszióanalízise

A növényenkénti termés és a növényegyed morfológiai jellemzői, valamint a terméskomponensek közötti „All possible subset selection” regresszióanalízis eredménye a 45. táblázatban látható.

A regresszióanalízis során nyolc független változót vizsgáltunk, melyek közül a növényenkénti termést egyenként meghatározó független változók (csökkenő R² szerint) a kalásonkénti szemszám, a kalásztömeg, a levélterület, a növénytömeg és az ezerszemtömeg volt. A termést együttesen legjobban meghatározó két független változó a kalásonkénti szemszám és az ezerszemtömeg (regressziós egyenlet: lásd. 5.5.2.1. fejezet).

Ezt követi (csökkenő R² szerint) a kalásonkénti szemszám és a harvest index, a kalásonkénti szemszám és a levéltömeg, valamint a kalásztömeg és a levéltömeg. A termést együttesen legjobban meghatározó három független változó a kalásonkénti szemszám, a levélterület és a levéltömeg. A regresszió egyenlete: $Y = -0,3201 + 0,03315_{\text{Szemszám}} + 0,003896_{\text{Levélterület}} - 0,780_{\text{Levéltömeg}}$.

Ezt követi (csökkenő R² szerint) a kalásonkénti szemszám, a kalásztömeg és a levéltömeg.

45. táblázat. Az egyes morfológiai jellemzők és a terméskomponensek, valamint a növényenkénti szemtermés közötti többszörös regresszióanalízis eredménye a változók kiválasztásának „stepwise” módszerével

Változók száma	Változó neve	R ²	\bar{R}^2	C _p	AIC
1	Szemszám kalász ⁻¹	0,936***	0,934***	77,11	113,1
1	Kalásztömeg	0,353***	0,334***	1066,61	1102,6
1	Levélfelület	0,249**	0,226**	1243,28	1279,3
1	Növénytömeg	0,201**	0,177**	1324,15	1360,2
1	Ezerszemtömeg	0,160*	0,135*	1393,15	1429,1
1	HI	0,089 ^{NS}	0,626 ^{NS}	1513,19	1549,2
1	Szártömeg	0,00 ^{NS}	<0,00 ^{NS}	1664,75	1700,7
1	Levéltömeg	0,00 ^{NS}	<0,00 ^{NS}	1664,79	1700,8
2	Szemszám kalász ⁻¹ , Ezerszemtömeg	0,982***	0,981***	0,53	36,5
2	Szemszám kalász ⁻¹ , HI	0,944***	0,941***	64,53	100,5
2	Szemszám kalász ⁻¹ , Levéltömeg	0,943***	0,940***	66,82	102,8
2	Kalásztömeg, Levéltömeg	0,570***	0,544***	699,02	735,0
3	Szemszám kalász ⁻¹ , Levélfelület, Levéltömeg	0,963***	0,960***	34,06	70,1
3	Szemszám kalász ⁻¹ , Kalásztömeg, Levéltömeg	0,955***	0,950***	49,24	85,2

R²: determinációs együttható, \bar{R}^2 : korrigált R² érték, C_p: C_p kritérium, AIC érték: Akaike információs kritérium
 Szignifikancia szintek: *P=5%, **P=1%, ***P=0,1%, ^{NS}=nem szignifikáns

5.6. Az eredmények összefoglalása, új tudományos eredmények

5.6.1. Az eredmények összefoglalása

Az évjárat hatása az őszi búzafajták szárazanyag termelésére, növekedési jellemzőire és termésére

A három vizsgált év közül a 2007/2008-as és a 2008/2009-es tenyészidőszak időjárási feltételei hasonlóak voltak. Ebben a két periódusban 637,8, illetve 616,6 mm csapadék hullott, mely elegendő volt az őszi búza számára. A csapadék mennyisége 2006/2007-ben ennek mintegy egyharmada volt (200 mm), és a harminc éves átlag (513 mm) felét sem érte el. A 2006/2007-es tenyészidőszakban a csapadék eloszlása sem kedvezett az őszi búzának. A csapadék eloszlása 2008-ban volt a legjobb, de az áprilisi csapadékhiánytól eltekintve 2009-ben is kedvezően

