



**Országos Tudományos Diákköri
Konferencia
2013**



**BURGONYA FAJTÁK NITROGÉN-HASZNOSÍTÓ
KÉPESSÉGÉNEK VIZSGÁLATA**

Készítette: Esztergályos Ádám, III. évf.

Témavezető: Dr. Hoffmann Borbála tanszékvezető egyetemi docens

Pannon Egyetem Georgikon Kar, Növénytudományi és Biotechnológiai Tanszék

Tartalomjegyzék

1 Bevezetés.....	1
2 Irodalmi áttekintés	3
2.1 A burgonya.....	3
2.1.1 Morfológiája, felhasználása	3
2.1.2 Származása.....	3
2.1.3 Termesztése a Világon és hazánkban	4
2.2 A burgonya ökológiai igénye	5
2.2.1 Klimatikus tényezők.....	5
2.2.2 Edafikus tényezők	5
2.2.3 A burgonya nitrogén-ellátása	6
2.3 A nitrogén-hasznosítás növelésének szükségessége	6
2.3.1 A nitrogén műtrágyák felhasználása	6
2.3.2 A nitrogén műtrágyák előállítás	8
2.3.3 A nitrogén hasznosulása	8
2.4 A nitrogén-hasznosító képesség.....	11
2.5 A növények nitrogén-táplálkozása	12
2.5.1 A nitrogén felvétele	12
2.5.2 A nitrát és ammónia mozgása a növényben	13
2.5.3 Az ionok felvételének szabályzása	13
2.5.4 Az ionok asszimilációjának szabályzása.....	14
2.6 Mikroszaporítás.....	16
2.6.1 Története, jelentősége.....	16
2.6.2 A sterilitás.....	17
2.6.3 A táptalaj komponensei	18
2.6.4 A mikroszaporítás fizikai tényezői	19
2.6.5 A burgonya mikroszaporítása	20
3 Saját vizsgálatok.....	21
3.1 Anyag és módszer	21
3.1.1 A kísérletben szereplő fajták és vonalak bemutatása	21
3.1.2 A táptalaj.....	23
3.1.3 A növényanyag felszaporítása.....	25

3.1.4 A növényanyag vizsgálata	26
3.1.5 Az adatok feldolgozása	27
3.2 Eredmények és értékelésük	27
3.2.1 Gyökérhossz	27
3.2.2 Hajtáshossz	30
3.2.3 Biomassza produkció	32
4 Összefoglalás	35
5 Köszönetnyilvánítás	37
6 Felhasznált irodalom	37
Melléklet	44

1 Bevezetés

„Amerika felfedezése után hajókaravánok százai hordták az aranyat és drágaköveket Dél-Amerikából Európába. Akkor még senki sem gondolta, hogy az Újvilág egyik legértékesebb kincse, amit behoztak, a burgonya.” (KOHÁRY, 2003.)

A burgonya rendkívül sokoldalúan felhasználható kultúrnövény. Gumója népelelmezési szempontból nagyon fontos, ugyanakkor állati takarmányozásra, élelmiszeripari felhasználásra egyaránt alkalmas, emellett a keményítő- és szeszgyártás, valamint a gyógyszeripar nyersanyaga. Gazdasági jelentőségét fokozza, hogy az Egyenlítőtől a sarkkörökig szinte bárhol termesztethető a jó alkalmazkodóképességének köszönhetően (MÉSZÁROS, 1979.). Az emberi táplálkozásban betöltött szerepe meghatározó, beltartalmi összetételénél fogva a legértékesebb nagy mennyiségben fogyasztott táplálékunk (HORVÁTH, 2003.).

A burgonya (*Solanum tuberosum* L.) „Újvilági” faj, a Világ fennmaradó részén ismeretlen volt egészen az 1500-as évekig (HERMANOVA et al., 2007.). Napjainkban a Világon 329,6 millió tonnát takarítanak be, a termőterület 18,3 millió ha (FAO, 2010.).

A növény igényeinek a mérsékelt meleg, kissé hűvös, csapadékos és párás időjárású területek felelnek meg a legjobban. Bár igen eltérő éghajlati viszonyok között is megterem, szűkebben behatároltak azok a területek, amelyeken nagy termések érhetők el (KRUPPA, 2004.). Magyarország földrajzi fekvése, éghajlati viszonyai a burgonyatermesztés, de különösen a burgonya vetőgumó szaporítás szempontjából kedvezőtlenebbek, mint a tőlünk északra - észak-nyugatra fekvő országokban (TAS, 1997.). Ennek ellenére a Világ átlagtermését hazánkban nemcsak elértük, de túl is szárnyaltuk az elmúlt évtizedekben (**1. ábra, KSH**).

A különféle talajtípusok a termésmennyiségen kívül a minőséget is befolyásolják. Legmegfelelőbbek a humuszos homoktalajok, a homokos vályog- és vályogos homoktalajok vízáteresztő altalajjal, valamint a csernozjom barna erdőtalajok (KRUPPA, 2004.). A tápanyagok közül a nitrogén befolyásolja legnagyobb mértékben a burgonya termésmennyiségét és minőségét. Kedvezően hat a gyökérsejt-osztódásra, a kezdeti fejlődésre, az asszimilációs felület gyors kialakítására (HORVÁTH, 1997.). Azonban még a növény igényeihez igazodó nitrogén-visszapótlás mellett is a kijuttatott tápelem mennyiségének kevesebb, mint a fele hasznosul a növényekben. A nitrogén fennmaradó része szennyezőanyagként jelenik meg, úgy a levegőben, mint a vizekben (GALLOWAY, 2006.).

A műtrágyák előállítása során a levegő nitrogénjét használjuk fel, mindez a Haber-Bosch eljárással valósítható meg. Ezen technológia energiaigénye meglehetősen nagy, emiatt a N-műtrágya gyártása rendkívül költséges, ráadásul a nitrogén rossz hasznosulása miatt nagyban hozzájárul a környezetet terheléséhez. Ezért szükséges olyan fajtákat előállítani, amelyek a tápanyagot jobb hatásfokon hasznosítják, és amelyek használatával csökkenthető a kijuttatott nitrogén mennyisége, ezzel együtt javul a termelés gazdaságossága, és csökken a környezet terhelése (HOFFMANN et al., 2010.).

A nitrogén-hasznosító képesség napjainkban egy dinamikusan kutatott terület. Külföldi adatokból tudjuk, hogy a burgonyafajták nitrogén hasznosító képességében igen nagy változatosság mutatkozik, a hazánkban termesztett fajták nitrogén hasznosító képességének vizsgálata azonban csak az utóbbi időben kezdődött.

Kísérletünk célja, hogy néhány, a Burgonyakutatói Központban nemesített fajta, valamint a Desiree nitrogén hasznosító képességéről *in vitro* körülmények között adatokat kapjunk.

2 Irodalmi áttekintés

2.1 A burgonya

2.1.1 Morfológiája, felhasználása

Lágy szárú növény, magassága akár az 1 m-t is elérheti. Levelei összetettek, páratlanul szárnyaltak. Virágzata bogernyő, általában végálló, termése bogyótermés (LÁNG, 1961.). Az ehető része a gumó, amely földalatti szármódosulás, alaktanilag ággumó, a sztóló megvastagodása révén fejlődik. A gumó héjának színe változatos, a halványsárgától a liláig bármilyen árnyalatot felvehet. A gumóhús színe általában fehér, vagy halványsárga, de néhány, az Andokban honos fajtáé lila is lehet. Mivel szármódosulás, ezért rügyek találhatók rajta, ebből új növény fejlődhet (KRUPPA, 2004.). Általában ezt a tulajdonságát kihasználva vegetatív úton történik a szaporítása, de a harmadik világ éhséggondjainak enyhítésére kidolgozták a botanikai magról történő termesztés rendszerét is (HORVÁTH, 2003.).

Gazdag beltartalmi összetételénél fogva a legértékesebb nagy mennyiségben fogyasztott táplálékunk (HORVÁTH, 2003.). Szárazanyag tartalmának mintegy 80%-a szénhidrát, így jelentős mennyiségű energiát biztosít, ugyanakkor zsírokat alig tartalmaz. Fehérjetartalma viszonylag alacsony, de az egy hektárra vonatkoztatott fehérjehozama megközelíti a hüvelyes növényekét, ugyanakkor az összes esszenciális aminosavat tartalmazza (HORVÁTH, 2004.). Vitamintartalma magas, C-, B₁-, B₂-, B₆-, A- és K-vitamint tartalmaz elsősorban. Ásványi anyag tartalma is jelentős, fontos kálium-, kalcium-, foszfor- és vasforrás (HORVÁTH, 2003.).

A burgonya szesz- és keményítőipari nyersanyag, 100 kg burgonyából 10-15 l abszolút alkohol, vagy 17-18 kg keményítő állítható elő, amelyet aztán számos iparág hasznosít (KRUPPA, 2004.).

2.1.2 Származása

Az „Újvilág” növényei közül a kukorica mellett a burgonya gazdasági jelentősége kiemelkedő. Közép- és Dél-Amerikából származik, gécenctrumai Mexikóban, Peruban, Chilében, Bolíviában és a Chiloe-szigeten találhatók (BOCZ, 1992.). A *Solanum tuberosum* L. faj számos - alfajnak tekinthető - vadburgonyát egyesít magába. Ugyanakkor a termesztett burgonya testvérfajai (vadburgonyák) még ma is megtalálhatóak a gécenctrumokban (BERTSCH, 1949.). Ezeknek a burgonyanemesítésben jelentős szerepük van, elsősorban rezisztenciaforrások. Például a *S. phureja* a haploidizáció során alkalmazott faj (portokkultúrák létrehozása), a *S. brevidens*, *S. etuberosum*, *S.*

bulbocastanum, *S berthaultii* fajoknak pedig az egyes rezisztencia géneknek a termesztett burgonya genetikai állományába történő beépítésében van jelentőségük (POLGÁR, 2005.).

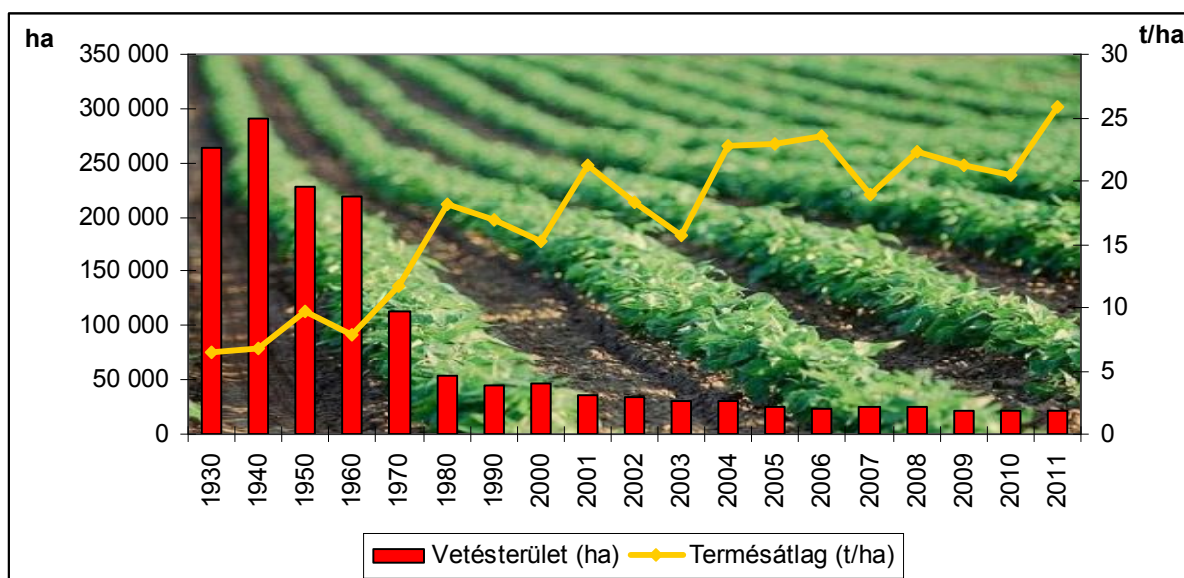
A burgonyát a XVI. században hozták be Európába, legelőször Spanyolországba. Klimatikus és edafikus igényei miatt eleinte Európa északi országaiban terjedt, kezdetben dísnövényként termesztették. Terjedését korlátozta, hogy tévesen mérgező növénynek tartották, ugyanis eleinte a botanikai termését fogyasztották, ami fejfájást és gyomorgörcsöket okozott (HORVÁTH, 2003.). A 18. század közepétől sikerült a rövidnappalra adaptálódott populációból nappal-semleges klónokat szelektálni, így a gumóhozamot megnövelni (DOBRÁNSZKI, MAGYARNÉ, 2005.). Hazánkba 1654-ben hozták be, de szántóföldi termesztésére csak 1780-ban került sor Rákoskeresztúron (BEKE, 1930.).

2.1.3 Termesztése a Világon és hazánkban

Napjainkban a Világon 329,6 millió tonnát takarítanak be, a termőterület 18,3 millió ha. A búza, a kukorica és a rizs után az élelmiszernövények között a negyedik helyen áll a Világon, a betakarított termésmennyiség tekintetében. A termés legnagyobb részét Kína (74,8 millió t) állítja elő, de jelentős még India (36,6 millió t), Oroszország (21,1 millió t), Ukrajna (18,7 millió t) és az USA (18,3 millió t) is. Az átlagtermés a Világon 18 t/ha, az éves burgonyaafogyasztás pedig eléri a 218 millió tonnát. A legalacsonyabb termésátlagot a Közép-afrikai Köztársaság produkálja (1,2 t/ha), míg a legmagasabb termésátlaggal az USA rendelkezik (44,9 t/ha) (FAO, 2010.).

Hazánkban az egy főre jutó fogyasztás csökkenő tendenciát mutat. Míg az 1930-as években 130 kg/fő/év volt jellemző, addig napjainkra ez az érték 60-65 kg/fő/évre redukálódott. A burgonya vetésterülete szintén csökkenő tendenciát mutat. Míg a '30-as években 290000 ha volt, addig a '90-es évekre 44000 ha-nyi területet foglalt el a burgonya, napjainkban pedig már csak 21000 ha-t. A vetésterület fokozatos csökkenése mellett a termésátlagok folyamatosan növekedtek, tehát a termelés hatékonyabb lett (BOCZ, 1992.).

Hazánk burgonya termesztésére vonatkozó adatait az **1. ábra** mutatja. A termésmennyiséget jelentősen befolyásolta a termőterület módosulása. Ez utóbbi az elmúlt évtizedben rendkívül változatosan alakult, 2011-ben 20966 ha volt. A termésátlagot azonban a termőterület nagysága nem befolyásolja, ez 2011-ben 25,9 t/ha volt (KSH 2011.). Ugyanakkor a különböző abiotikus tényezők jelentős korlátozó tényezői a termesztésnek.



1. ábra: A burgonya vetésterülete és termésátlaga Magyarországon (Forrás: KSH)

2.2 A burgonya ökológiai igénye

2.2.1 Klimatikus tényezők

A klimatikus tényezőkkel nemcsak a termés mennyisége, hanem a minősége, biológiai értéke is szorosan összefügg. A burgonya igényeinek a mérsékelt meleg, csapadékos és párás, kissé hűvös időjárású területek felelnek meg a legjobban, vízigénye 500-550 mm. Szára $-1,5^{\circ}\text{C}$ hőmérsékleten elhal, 30°C felett a lombzat nem fejlődik, a gumóképződés gátolt. Bár a burgonya igen eltérő éghajlati viszonyok között is megterem, szűkebben behatároltak azok a területek, amelyeken nagy termések érhetők el (KRUPPA, 2004.). Termesztésére főleg azok a területek alkalmasak, ahol az évi középhőmérséklet $5-10^{\circ}\text{C}$ körül van és a nyári meleg hónapok középhőmérséklete nem haladja meg a 21°C -ot (BACSÓ, 1966.). Ebből is látszik, hogy hazánk nem optimális terület a burgonyatermesztésre, klimatikus adottságai miatt. Közép-Európában Magyarország területe a burgonya üzemi méretekben történő, gazdaságos termesztetőségének földrajzi értelemben vett alsó határa (BOCZ, 1992.).

2.2.2 Edafikus tényezők

A burgonya talajigénye a talaj és éghajlat kölcsönhatásában határozható meg pontosabban. Hűvösebb, csapadékosabb klímájú országokban a homoktalajokon is jó termés érhető el. Hazánkban legmegfelelőbbek a humuszos homoktalajok, a homokos vályog- és vályogos

homoktalajok vízáteresztő altalajjal, valamint a csernozjom barna erdőtalajok (KRUPPA, 2004.). A kötöttebb talajok nem kedveznek a gumónövekedésnek és a betakarítás is nehezebb (BOCZ, 1992.). A burgonya a talaj pH-viszonyait széles intervallumban elviseli (4,5-7,5 pH), de az optimális pH-tartomány: 5,5-6,5 pH, tehát az enyhén savanyú talajokat részesíti előnyben (HORVÁTH, 2004.).

2.2.3 A burgonya nitrogén-ellátása

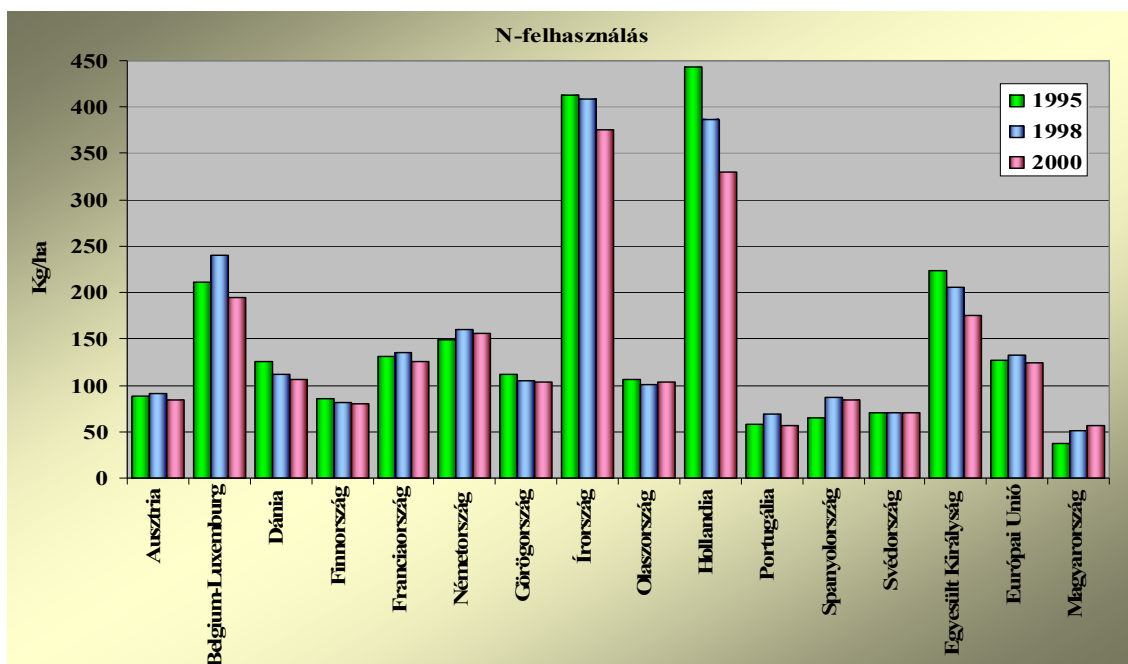
A tápanyagok közül a nitrogén befolyásolja legnagyobb mértékben a burgonya termésmennyiségét és minőségét. Kedvezően hat a gyökérsejt-osztódásra, a kezdeti fejlődésre, az asszimilációs felület gyors kialakítására (HORVÁTH, 1997.). A burgonya számára kijuttatott nitrogén mennyisége országos átlagban, az 1980-as években 150-200 kg/ha volt. A N-szükségletet azonban több tényező is módosíthatja. Egyrészt a burgonya tenyészideje. A késői érésű burgonya alacsonyabb tápanyag-ellátási szint mellett is nagyobb termést hoz, mint a rövid tenyészidejű - optimális környezeti feltételek esetén -, hiszen a hosszabb ideig tartó mineralizáció folytán a talajból több tápanyagot képes hasznosítani. A termesztési cél is módosítja a tápanyag-igényt, nem mindegy, hogy áru-, vagy vetőgumó-termesztésről van szó (BOCZ, 1992.). Emellett a fajták N-igénye nagyban különbözik, ezt kísérletek igazolják. A fajták tápanyagigényét környezetvédelmi és gazdaságossági okok miatt meg kell állapítani, és a N-adagokat ennek megfelelően kell alkalmazni.

2.3 A nitrogén-hasznosítás növelésének szükségessége

2.3.1 A nitrogén műtrágyák felhasználása

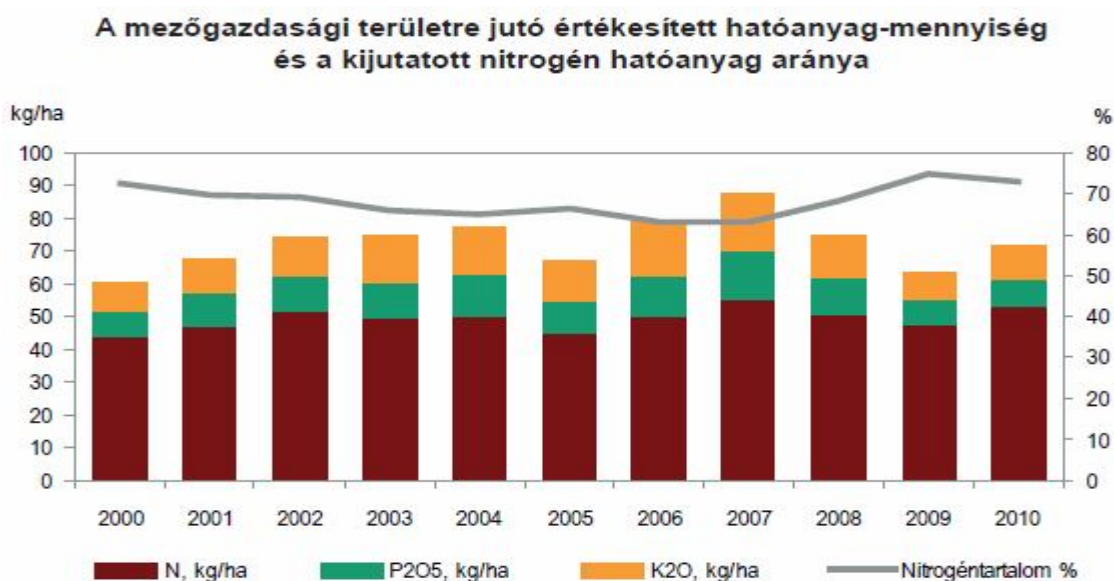
A termés biztonsága és a megfelelő hozam biztosításának érdekében elengedhetetlen az ásványi trágyák használata. A műtrágyák használatának volumene azonban az egyes-országokban jelentősen különbözik. A **2. ábra** az Európai-unió tagországaiban felhasznált N-műtrágyák mennyiségét szemlélteti.

Látható, hogy azon tagországokban, ahol nagyon intenzív módon gazdálkodnak, a mezőgazdaságot „csúcsra járatják”, még európai viszonylatban is kiugróan magas a N-műtrágyák felhasználása. Ugyanakkor ezekben az országokban (Hollandia, Írország, Belgium, Luxemburg, Egyesült Királyság) csökkenő tendencia figyelhető meg a felhasználást illetően.



2. ábra: N-műtrágya felhasználás az EU tagországaiban (Forrás: HEFOP 3.3.1)

Magyarországon az egy hektárra jutó műtrágya mennyisége európai szinten viszonylag alacsonynak mondható, ugyanakkor a nitrogéntartalmú műtrágyák használatának túlsúlya tapasztalható: a nitrogén aránya az összes hatóanyag-tartalomban 2010-ben 73% volt. A mezőgazdasági területekre kijuttatott hatóanyag mennyiségét, és a kijuttatott nitrogén hatóanyag arányát a **3. ábra** szemlélteti.



3. ábra (Forrás: Tudástár az élelmiszer-gazdaságról)

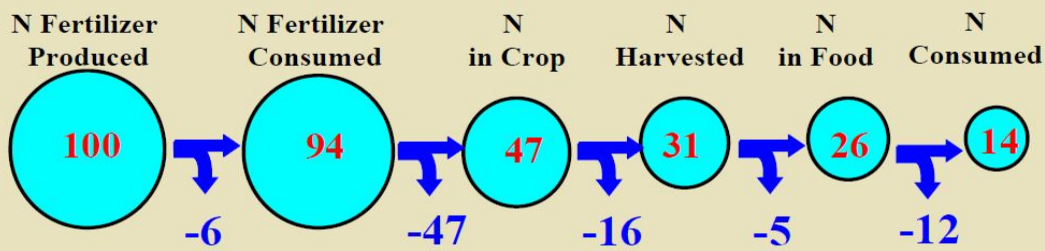
2.3.2 A nitrogén műtrágyák előállítása

Jelenleg a növénytermesztésben használatos nitrogén műtrágyákat a Haber-Bosch eljárással állítják elő. Az eljárás lényege, hogy hidrogén és nitrogén gázból, igen nagy nyomáson és hőmérsékleten, vaskatalizátor jelenlétében ammóniát állítanak elő, amelyből aztán salétromsav nyerhető, ebből pedig elő lehet állítani a műtrágyákhoz szükséges nitrátokat. Az eljárás elméleti alapjait Fritz Haber fektette le, ipari méretekben történő alkalmazhatóságát pedig Carl Bosch dolgozta ki a XX. sz. elején (BODOR, 1994.). A hidrogén ipari előállítása metán és vízgőz reakciójából lehetséges, bár Haber még elektrolízissel állította elő. A nitrogén előállítása történhet cseppfolyós levegő desztillációjával, vagy nitrogéngenerátorok segítségével, sűrített levegőből. Látható, hogy már a kiindulási anyagok előállítása is rendkívül energiaigényes. Mivel a nitrogén stabil molekula, ezért a háromszoros kovalens kötés felszakításához 150-250 bar nyomás és 300-550 °C hőmérséklet szükséges, még katalizátor mellett is (CHEMGUIDE). Az eljárás 97%-os hatékonysággal működik, viszonylag alacsony a nitrogén gáz alapú elillanása, de energiaigénye nagy, és ezért meglehetősen költséges. A jövőben az energiaforrásaink szűkülése, az energiaárak növekedése, ebből kifolyólag pedig a nitrogén műtrágyák gyártási költségének további emelkedése várható (GALLOWAY, 2006.).

2.3.3 A nitrogén hasznosulása

Már maga a nitrogén műtrágyák előállítása sem 100% hatékonysággal működik. Viszonylag kisebb az a mennyiség, ami a műtrágya előállítása és felhasználása közti intervallumban elvész (6%), azonban a növényi biomasszában a kijuttatott hatóanyag mennyiségének csak a 47%-a hasznosul, a fennmaradó rész pedig a környezetet terheli. Mivel számunkra a gazdasági termés a hasznos, így amíg a termés a tényleges fogyasztóhoz eljut, a kijuttatott nitrogén hatóanyagnak csupán a 14%-a hasznosul. Természetesen ez abban az esetben van így, ha a friss növényi részeket fogyasztjuk. Amennyiben a betakarított termés takarmányozási célra kerül felhasználásra, a befektetett hatóanyagnak csak a 4%-a jut el a fogyasztóhoz, állati termék formájában (GALLOWAY, 2006.). A folyamatot a **4. ábra** szemlélteti.

The Fate of Haber-Bosch Nitrogen

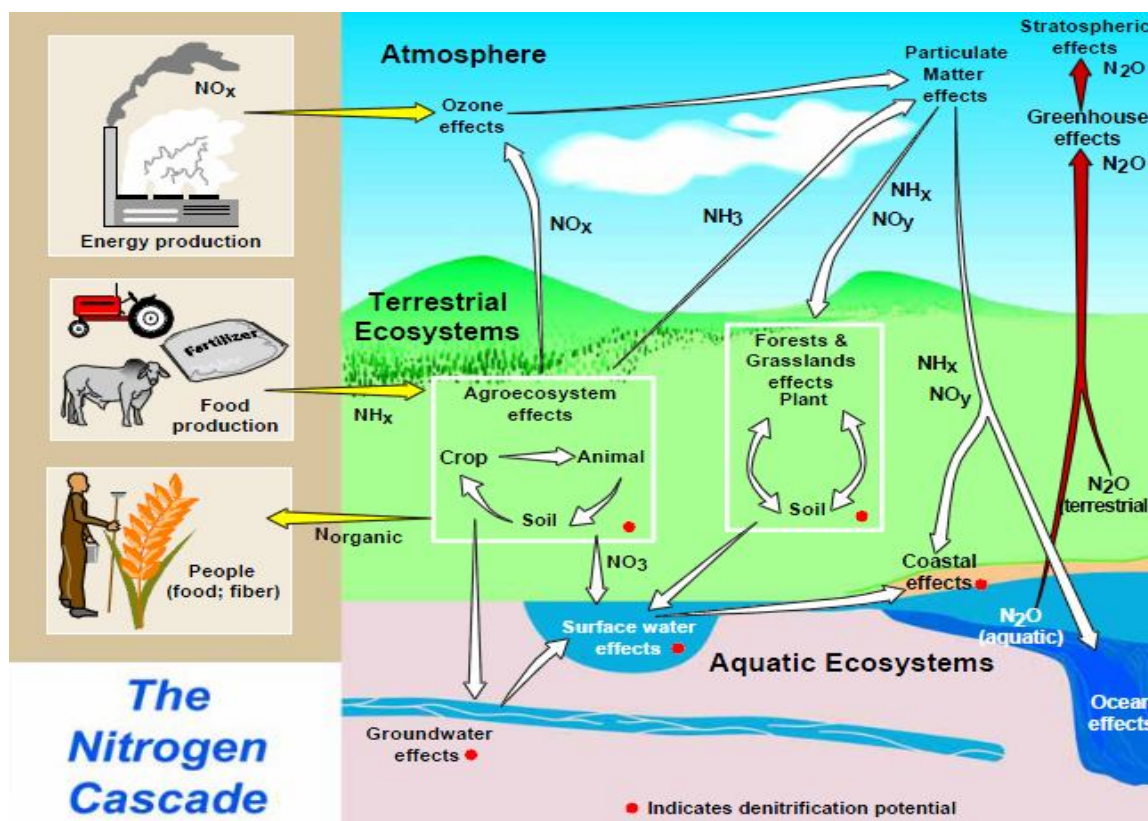


14% of the N produced in the Haber-Bosch process enters the human mouth.....if you are a vegetarian. The remainder is lost to the environment.

4. ábra: A nitrogén hasznosulása a fogyasztóig (Forrás: GALLOWAY, 2006.)

A N-műtrágya előállítás rendkívül energiaigényes, a befektetett energia jelentős hányadát fosszilis tüzelőanyagok felhasználásával állítják elő. Ennek során jelentős mennyiségű üvegházhatásért felelős gáz (CO_2 , N_2O) kerül a légkörbe (GALLOWAY, 2006.). A tény azonban kevesek számára ismert, hogy az N_2O üvegház-hatása 296-szorosa a CO_2 üvegház-hatásának (O'BRIEN - MULLINS, 2008.). Mindemellett, a növény által fel nem használt nitrogént a talajban mikroorganizmusok denitrifikálják, és a nitrogén egy része (N_2O , vagy ammónium formában) a légkörbe kerül (volatilizáció). A talajból való kimosódás is jelentős problémákat okoz (NÉMETH, 2002.).

A N_2O a sztratoszférikus ózonréteg elvékonyodását idézi elő, nagyban hozzájárul az üvegházhatáshoz, míg az ammónium a savas ülepedésekért felelős (DONEY, 2010.). A felszíni vizekben eutrofizációt indít el, az ivóvízbe kerülve pedig mérgezést is okozhat (NÉMETH, 2003.). A folyamat az **5. ábrán** követhető nyomon.



5. ábra: A növény által fel nem használt nitrogén hatása a környezetre

(Forrás: GALLOWAY, 2006)

A növénytermesztésben világviszonylatban felhasznált nitrogén műtrágya mennyisége 2008-ban 128 millió tonna volt (FAO. 2008.). Ennek a nitrogén műtrágya mennyiségnek az előállításához a világ energia fogyasztásának 1.2%-át használtuk fel. Mindezek mellett az EU25 országaiban az üvegházhatású gázok 9,5%-a mezőgazdasági eredetű (O'BRIEN - MULLINS, 2008.). Kijelenthetjük tehát, hogy a nitrogén műtrágyák előállítása és felhasználása költséges és erősen terheli a környezetet, vagyis a magas költséggel előállított nitrogén műtrágya jelentős hányadát a környezet szennyezésére „használjuk” fel (HOFFMANN, 2011.a.). A problémát más szemszögből is megközelíthetjük. A burgonyának szánt nitrogén műtrágya mennyisége 100-200, esetenként 300 kg/ha, a talajtól és a termelési céltól függően (VAN DER ZAAG, 1999., KRUPPA, 1998.). 1 t nitrogén műtrágya előállításának energiaszükséglete 2876 MJ (CHEMGUIDE). Tehát 1 ha burgonya vetésterületre jutó energiaszükséglet optimális esetben is 287,6 MJ. Magyarországon 2011-ben 20966 ha volt a burgonya vetésterülete (KSH, 2011.). Következésképpen hazánkban csak a burgonyatermesztési ágazat 6029821,6 MJ energiát használt fel nitrogén műtrágya formájában. Ugyanakkor ennek a mennyiségnek az 53%-a (3195805,4 MJ) kárba vészett, a környezetet szennyezte. Hogy nagyságrendekben behatárolható legyen ez a mennyiség, elmondható, hogy megfelel 76,5 t gázolaj fűtőértékének (MEDGYES, 2004.). Ezért érthető és indokolt az a törekvés, miszerint a kijuttatott N-műtrágya hatékonyságát javítani szükséges. Ezt kétféleképp érhetjük el:

egyrészt megfelelő agrotechnikai eljárásokkal, valamint a növény igényéhez igazodó N-adagolással, másrészt olyan fajták használatával, melyek a rendelkezésre álló tápanyagot jobb hatásfokon hasznosítják (HOFFMANN et al., 2010.).

Számos faj estében, így a burgonyánál is bizonyított (SATTELMACHER et al., 1990., ZEBARTH et al., 2008.), hogy az egyes genotípusok között jelentős különbség van a tekintetben, hogy milyen a nitrogénhasznosító képességük (HOFFMANN et al., 2010.).

2.4 A nitrogén-hasznosító képesség

A növény nitrogén hasznosító képességén azt értjük, hogy a rendelkezésre álló nitrogénből a növény mennyit képes felvenni, és a szervezetébe jutott nitrogénből mennyi szerves anyagot képesek előállítani. A nitrogén-hasznosító képesség (NUE: Nitrogen Use Efficiency) két mennyiség, mégpedig a növény által megtermelt szerves anyag és a növény számára rendelkezésre álló összes felvehető nitrogén hányadosa (CASSMAN et al., 2002.). A nitrogén-hasznosító képesség két komponensre bontható: a nitrogén felvételének hatékonyságára (NUpE: Nitrogen Uptake Efficiency), valamint a felvett nitrogén hasznosulásának hatékonyságára (NUtE: Nitrogen Utilization Efficiency). A nitrogén felvételének hatékonysága (NUpE) a növény által felvett összes N és az összes felvehető N hányadosa. A felvett nitrogén hasznosulásának hatékonysága (NUtE) a növény összes szárazanyag tartalmának és a növény által felvett összes N-nek a hányadosa. A két hányados szorzata adja a fajtára jellemző nitrogén hasznosító képesség értékét (HOFFMANN et al., 2010.). A gyakorlatban azonban nehezen használható a NUpE, ugyanis eltérő körülmények között még azonos talajtípuson és egyező N műtrágya mennyiség kijuttatása mellett is más az összes felvehető N mennyisége. Ezt azzal magyarázhatjuk, hogy a hőmérsékleteti és csapadék viszonyoktól függően a talajban változik a N-feltáródásának mértéke. Ezért könnyebb a műtrágya hasznosító képességet számítani (FUE: Fertilizer UE), amely nem más, mint a növény által felvett N és az összes kijuttatott N mennyiségének hányadosa (DIBB et al. 2003.).

Jelenleg a modern vonalak szelekciója jó tápanyag-ellátottsággal rendelkező területeken történik, így ezek a genotípusok a rendszeresen a magas inputhoz adaptálódnak. Azonban a termőképesség genetikai variabilitásának megnyilvánulása nagyban függ a N-ellátottságtól (CASSMAN et al., 2002.). A magas N-ellátottsági szinten a NUE-ben tapasztalható változást a NUpE különbségek adják, míg alacsony N-ellátottsági szinten mutatózó NUE különbségeket NUtE-ban jelentkező eltérésként értelmezhetjük. Mindez arra enged következtetni, hogy számos géncsalád kifejeződésének mértéke függ a rendelkezésre álló N mennyiségétől (GLASS et al., 1992.). Ezen gének ismerete azonban még nem jelenti a NUE javításának lehetőségét, ugyanis több növényfajban is próbálkoztak már a kulcsgének túlműködtetésével, de ezek nem hoztak a gyakorlatban

használható eredményeket. Mindezek mellett a NUE mértéke belső tényezőktől (fotoszintetikus szén-megkötés, respiráció) is függ. Ezért van szükség a növény-szintű elemzésekre (HOFFMANN, 2011.a.).

2.5 A növények nitrogén-táplálkozása

2.5.1 A nitrogén felvétele

A növények nitrogén-igénye az egyedfejlődés során jelentősen változik. A vegetatív fázisban magas N-igény jellemző (elősegíti az asszimilációs felület gyors kialakítását, a gyökérsejtek osztódást), a reprodukív fázisban azonban ez jelentősen csökken, mivel a vegetatív fázisban felhalmozott N-t remobilizálja az idősebb növényi részekből.

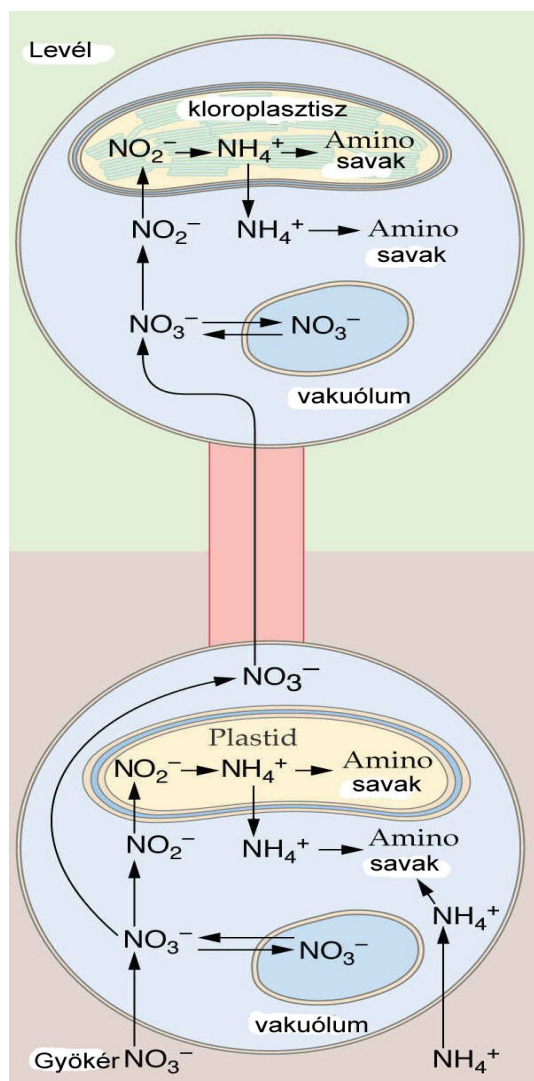
A túlzott N-ellátásnak több kedvezőtlen hatása is van, például a generatív fázis elhúzódik, a termésérés később indul meg, a betegségekkel szembeni fogékonyság fokozódik, valamint romlik a gumók tárolhatósága és felhasználási értéke (HORVÁTH, 1997.). Miszerint a növények N-igénye időben változik, ez a felismerés vezetett el az okszerű N-trágyázási gyakorlat kialakulásához, mellyel a kijuttatott N-műtrágya hasznosulásának hatékonyságát növelni, így a fajlagos mennyiségét csökkenteni lehetett. Mindezek mellett a növények optimális N-tartalmát a termesztési cél is nagymértékben befolyásolja (MEYNARD et al., 2002., NÉMETH, 1981.).

A növények elsősorban nitrát (NO_3^-) és ammónium (NH_4^+) ionok formájában veszik fel a nitrogént. Azokban a talajokban, ahol a nitrát és ammónium egyaránt bőségesen rendelkezésre áll, a növények az NH_4^+ -ot veszik fel. Ennek az oka, hogy az ammónium a N redukált formája, így nem kell végbemennie a nitrát-nitrit-ammónia redukciónak, ezzel a növény energiát takarít meg, egyből be tudja építeni az aminosavakba. A mi éghajlatunkon azonban erre ritkán van lehetőség, mivel jó szerkezetű talajokban a N általában NO_3^- formájában található meg, ugyanis az NH_4^+ koncentrációja a gyors nitrifikáció miatt alacsony (GAZZARRINI et al., 1999.). Mindemellett a növények képesek a szerves N-források felvételére is (aminosavak, amidok, urea), valamint néhány növénycsalád (pl. Fabaceae) tagjai képesek a molekuláris nitrogént (N_2) is hasznosítani, ezt a velük szimbiózisban élő baktériumok kötik meg.

A NO_3^- a növényen belül elsősorban a xilem elemekben mozog, az NH_4^+ hasonlóképp, viszont sokkal alacsonyabb koncentrációban (SCHJOERRING et al., 2002.). Ezzel szemben az aminosavak mind a xilem, mind a phloem elemekben mozoghatnak a növényi részek között (COOPER, CLARKSON, 1989.). A NO_3^- jelentősen befolyásolja a növény vízháztartását. Egyrészt a levél sejtjeinek vakuólumában felhalmozódva szerepet játszik a turgor kialakításában (CHAILLOU, LAMAZE, 2001.), másrészt segíti a víz transzportját a gyökér felől a hajtás felé (WANG et al.,

2001.). A vakuólumban felhalmozott nitrát ezen felül fontos N-tartalék a növény számára (CHAILLOU, LAMAZE, 2001.).

2.5.2 A nitrát és ammónia mozgása a növényben



A nitrogén felvételét a növény szabályozza, de a talajban rendelkezésre álló készletek nagyban befolyásolják a felvehetőséget. A gyökérsejtekbe került NO_3^- egy része a vakuólumban raktározódik, másik része a citoplazmában redukálódik NO_2^- -té, majd a gyökér sejtorganelleumaiban NH_4^+ -vá redukálódik, és az aminosavakba épül. A gyökérsejtet elhagyva az intercelluláris oldatba kerülhet, illetve a föld feletti növényi részekbe is szállítható a xilem elemeken keresztül. A fenti mozgások folytán membránokon keresztül kell haladnia, ezért ez energiaigényes folyamat. A növény föld feletti szerveiben a vakuólumban raktározódhat, így részt vehet a turgor kialakításában, illetve NO_2^- -té, majd a kloroplasztiszból NH_4^+ -vá redukálódva az aminosavakba épülhet. A gyökérben a bejutott NH_4^+ egyből asszimilálódik, de a föld feletti részekbe is transzlokálódhat, ez azonban elhanyagolható mértékű.

6. ábra: A nitrát és az ammónium mozgása a növényben (HOFFMANN, 2011.b.)

Az NH_4^+ a növényben kis mennyiségben a talajból, részben a NO_3^- redukciójából, de nagyobb részben foto-respirációból, valamint a proteinek lebomlásából származik (SCHJOERRING et al., 2002.). A folyamatot a **6. ábra** szemlélteti.

2.5.3 Az ionok felvételének szabályozása

A NUE fokozása érdekében folytatott kutatásokhoz és a növények szelekciójához nem csupán a nitrogénnek a növényben játszott szerepét kell ismernünk, hanem a N-anyagcsere szabályozásának folyamatát is. Az ionok felvételének szabályozásában szerepet játszó enzimek, valamint az ezeket kódoló gének működésének megismerése elengedhetetlen a NUpE növelése érdekében.

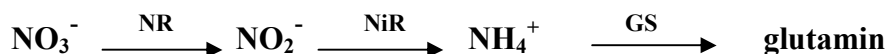
A **nitrát** transzporter gének (*NRT*) elsősorban a gyökerekben expresszálódnak és mind pozitív, mind negatív visszacsatolással szabályozottak. A nitrát transzporter gének transzkripcióját a NO_3^- jelenléte indítja meg. Amennyiben a szövetekben a NO_3^- felhalmozódik, a gének transzkripciója csökken (LEJAY et al., 2003.).

A NO_3^- felvételét két független rendszer, a HATS (HATS: high-affinity transportes system) és a LATS (LATS: low-affinity transportes system) szabályozza. Ha a környezetben kevés N áll rendelkezésre, a HATS biztosítja a NO_3^- felvételét, ellenkező esetben a LATS lép működésbe (GLASS et al., 1992.). A kis és a nagy affinitású NO_3^- transzporter rendszerhez tartozó proteineket két géncsalád kódolja, előbbit az *NRT1*, utóbbit az *NRT2* (HUANG et al., 1996, TRUEMAN et al., 1996.).

Az **ammónium** esetében a növényben jelentkező N-hiány indítja meg az ammónium transzporter gének (*AMT*) kifejeződését. Amennyiben a N-hiány megszűnik, a visszacsatolós szabályozás miatt a NH_4^+ -felvétele csökken (GLASS, SIDDIQI, 1995.). Emellett a fény, illetve a fotoszintézis is befolyásolja az NH_4^+ felvételét, valamint maga az NH_4^+ -ion is szerepet játszhat a transzporter aktivitásának csökkentésével, vagy a transzporterek szintézisének gátlásával (LEJAY et al., 2003.).

2.5.4 Az ionok asszimilációjának szabályozása

Az ion-felvétel hatékonyságának növelése azonban még nem elég, ehhez a felvett ionok asszimilációjának a fokozása is szükséges. A felvett ionok asszimilációjának szabályozásában szerepet játszó enzimek, valamint az ezeket kódoló gének működésének ismerete a NUtE fokozásában játszik jelentős szerepet. Az asszimiláció hatékonyságának növelésével a nitrogén-hasznosító képesség fokozható.

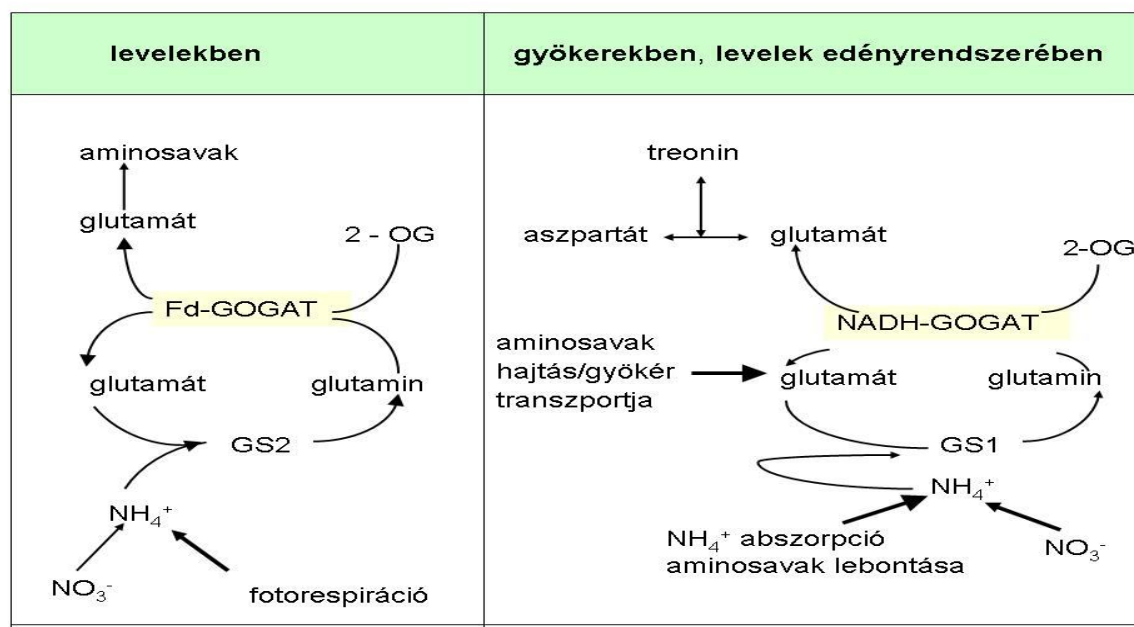


A **nitrát** redukcióját két enzim, a nitrát reduktáz (**NR**) és a nitrit reduktáz (**NiR**) katalizálja. A NR enzimet a *NR* gének kódolják, amelyeket két osztályba sorolunk: a *Nia* gének, illetve a *Cnx* (cofactor for *n*itrate reductase and *x*anthine dehydrogenase) gének (MEYER, STITT, 2001.). Az *NR* gének a gyökérben és a hajtásban is kifejeződnek, az expresszió mértékét a redukálódott NO_3^- szabja meg az adott növényi részben. Ezen gének működése több tényező által szabályozott: a NO_3^- koncentrációja, a fény, szénhidrátok, hormonok (pl. citokininek) mind hatással vannak a működésükre (CRAWFORD, 1995.).

A *Nia* gének expresszióját a NO_3^- alacsony koncentrációja indukálja. Ugyanakkor a NO_3^- asszimiláció termékei gátolják a *Nia* és a *Cnx* gének kifejeződését (negatív visszacsatolás) (MEYER, STITT, 2001.).

Az ammónium asszimilációjában két enzim játszik jelentős szerepet: a glutamin szintetáz (**GS**), és a glutamin 2-oxoglutarat amino transzferáz (**GOGAT**).

A GS az NH_4^+ glutamáthoz való kötődését katalizálja, melynek folyamán glutamin képződik. A glutamin a Krebs-ciklusban a 2-oxoglutaráttal reagál, amely során két glutamát képződik. Ezek egyike a körfolyamatban marad, hozzá újabb NH_4^+ kapcsolódik, a másik viszont az aminosav szintézis folyamatába kapcsolódik be. A GS két izoformában van jelen a növényi sejtekben. A GS1 a sejtek citoplazmájában található, általában a gyökerekben, de a levelekben is megfigyelhető. Valószínűleg a NO_3^- redukcióból származó NH_4^+ asszimilációjában van szerepe. A GS2 a kloroplasztiszokban, így a zöld növényi részekben található meg. Szerepe a NO_3^- redukciójából, valamint a fotorespirációból származó NH_4^+ asszimilációjában van. A folyamatot a **7. ábra** szemlélteti. A GS2 enzimet a *GLN2* gén, a GS1 enzimet több gén, fajtól függően 3-6 (*GLN1.x*) kódol. A gének expressziója mind pozitív, mind negatív visszacsatolással szabályozottak (HIREL et al. 2001.).



7. ábra: A GS és GOGAT szerepe a levelekben és a gyökerekben

(LANCIENT et al., 2002 alapján In: HOFFMANN, 2011.b.)

A GOGAT is két formában jelenik meg a növényekben: Fd-GOGAT és a NADH-GOGAT (HIREL, LEA, 2002.). Az Fd-GOGAT -ot két gén kódolja, a *GLU1*, amely főként a levelekben expresszálódik, és a *GLU2*, amely inkább a gyökerekben expresszálódik. A *GLU1* által kódolt Fd-GOGAT a fotorespirációból származó NH_4^+ asszimilációjáért felelős a levelekben, míg a *GLU2* által kódolt Fd-GOGAT a levelek, és a gyökerek elsődleges N-asszimilációjában vesz részt (COSCHIGANO et al., 1998.). A NADH-GOGAT a gyökerek elsődleges N-asszimilációjában játszik szerepet, ezt az enzimet a *GLT1* gén kódolja.

A N-asszimilációban szerepet játszó fontosabb gének már ismertek (HIREL et al. 2001.). Azonban a termesztett fajok N-hasznosító képességében a természetben előforduló variabilitás elemzése más módszereket igényel. Ilyen módszer lehet a növények mikroszaporítása.

2.6 Mikroszaporítás

2.6.1 Története, jelentősége

A növények *in vitro* szaporítása során egy növényi részből (amely lehet hajtás-, levél-, gyökérdarab, kallusz, vagy akár egyetlen sejt) regenerálunk egy teljes növényt, szabályozott külső és belső körülmények között. Célja minél több patogénmentes növény előállítása, rövid időn belül, évszaktól függetlenül (JÁMBORNÉ, 2005.).

Elméleti alapjait Schleiden (1838.) és Schwann (1839.) fektették le. Szerintük az élő organizmusok egyes részeinek, még az egyes sejteknek is, főképp izolált körülmények között, önálló életképességük van. Tehát képesek növekedni, osztódni, sőt, intakt szervezetté fejlődni megfelelő környezeti feltételek jelenlétében. Azonban steril *in vitro* szövettenyésztési kísérletekről csak jóval később, 1902-ben számolt be Gottlieb Haberlandt. A tenyésztés lényegét abban látta, hogy ha a fejlettebb növények izolált sejtjeit kultúrában tartjuk, és azok fejlődnek, abból következtetni lehet a soksejtes szervezet élettani folyamataira. Ugyan az ő kísérletei sikertelenek voltak, de ezt az elvet ma is elfogadhatónak tartjuk. Az első sikeres tenyészeteket Gautheret és White hozták létre 1939-ben. Az ő tenyésztük már több szubkulturáláson átesett, és tovább fejlődött, azonban nem differenciálódtak növényi szervek. Az első sikeres hajtástenyésztetről Loo számolt be 1945-ben. Az ő eredményei a tenyésztés mai fogalmának is megfelelnek, ugyanis bebizonyította, hogy minden növényi szerv *in vitro* tenyészthető megfelelő feltételek mellett. Ezen feltételek pedig a táptalajba adagolt ionokon és szacharózon kívül a hormonok és főként a fény. A Loo által elindított hajtástenyésztet később növényiszaporítási formává alakult (MARÓTI, 2005.).

A növényiszaporításon kívül az *in vitro* szaporításnak más jelentősége is van. La Rue et al. 1952-ben végzett kísérletei azt mutatták, hogy portokok steril tenyésztése során egyes esetekben

szervorganizáció figyelhető meg. Később Nitsch, valamint Sunderland és Wicks (1969-ben) portokokból, valamint pollenből képződött kalluszcsovegeköl hormonok kombinációjával haploid, diploid, illetve más poliploidiafokú intakt növényt neveltek fel. Ezen növények fertilis virágokat is hoztak, ezáltal alkalmasak generatív keresztezésre, így a nemesítésben fontos szerepet játszhatnak (HESZKY, 2000.).

A vegetatív mikroszaporításnak a genetikai tartalékok megőrzésében is szerepe lehet, mint génbank. A veszélyeztetett fajokat így eredeti génforrásként, viszonylag kis helyen lehet megőrizni (WITHERS, 1986.). Egy másik felhasználási lehetőség a mikrooltás, az inkompatibilitási problémák megoldásának kutatása. Ezen kívül talán a legjelentősebb lehetőség a szomatikus sejthibridek létrehozása. Ez az eljárás lényegében vegetatív hibridizáció, sejtfa nélküli sejtek fúziójával valósul meg (POLGÁR, 1996.).

2.6.2 A sterilitás

A szövettenyésztésben használt táptalaj nemcsak a növényi szöveteknek, hanem a baktériumoknak és gombáknak is kiváló táplálékot jelentenek. A tenyészetekben fejlődő mikroorganizmusok telepei a növényi explantátumok, vagy a táptalaj nem megfelelő sterilizálása miatt keletkeznek. A passzálás során is számos kórokozó kerülhet a tenyészetbe, általában hajról, ruházatról. A kórokozók mellett kártevők is megjelenhetnek (atkák, tripszek, hangyák) a nem megfelelően izolált tenyészőkamrákban. Ha a nevelőedényekbe is bejutnak, a testükre tapadt gombaspórák és baktériumok által befertőzhetik a tenyészetet. Ezért a sterilitás a szaporítás sikerességében meghatározó szerepet játszik.

Első lépés mindig a növényi szövet teljes sterilizálása az *in vitro* kultúrába helyezés előtt. Ezt a folyamatot megelőzi az anyanövény gondos kiválasztása, majd az anyanövény előkészítése. Az előkészítést (a felületi sterilizálást) leggyakrabban klórtartalmú fertőtlenítőszeres áztatással végzik (HEGEDŰS, 2005.).

Nagyon fontos az eszközök és a tenyészedeény, valamint a táptalaj sterilitása is. Minden eszközt, valamint a tenyészedeényt a benne lévő táptalajjal a passzálást megelőzően csíramentesíteni kell, amire az **autokláv** a legalkalmasabb. Az autokláv nagy nyomáson és hőmérsékleten működő, gőzzel fűtött, zárt rendszerű készülék. A csíramentes eszközökkel és csíramentes növényanyaggal történő passzálást ezután **steril boxban** végzik. A steril box egy fülke, amely a levegő szűrése révén mikrobamentes légteret biztosít a berendezés munkaterében. Megakadályozza, hogy a dolgozó hajáról, ruházatáról a mikroorganizmusok a munkatérbe jussanak, ugyanis a munkatérből kifelé irányuló légáramot biztosít. A használata előtt azonban a lamináris boxot is csíramentesíteni kell, ez UV-fény, vagy alkohol, esetleg a kettő kombinálásával érhető el. Fontos a munkavégzés során is az

eszközök sterilitásának megőrzése. Ezt a munkafolyamatok közötti hőkezeléssel lehet elérni, a boxon belül, általában elektromos fűtésű **eszközfertőtlenítő** használatával (FÁRI, 2005.).

2.6.3 A táptalaj komponensei

A táptalajok összetétele hosszú fejlődésen ment keresztül, ma mintegy 685-féle makroelem- és 574-féle mikroelem összetételt ismerünk (GEORGE, 1987.). A leggyakrabban használt táptalaj a MURASHIGE és SKOOG (1962.) által leírt (MS). A leírók között nem egyértelmű a vas, mint tápelem szerepe, egyesek mikroelemként, mások **makroelemként** sorolják be. Eleinte problémát okozott a táptalajban a vas-sók kicsapódása, ma már azonban ezt szerves vaskomplexek alkalmazásával megoldották (Na-Fe-EDTA). A makroelemek koncentrációja széles intervallumon belül, 15-3800 mg/l változik a különböző táptalajokban. A **mikroelemeknek** is nélkülözhetetlen szerepük van a steril kultúrákban. Koncentrációjuk 0,002-40 mg/l (MARÓTI, 2005.).

A teljes növény minden, számára fontos **vitamint** képes szintetizálni, azonban minél kisebb a szövettenyésztéshez kiindulásként használt növényi rész, ez annál kevésbé képes a szintézisre. A vitaminok adagolása tehát a tenyészetek életben maradásához, és növekedésük serkentéséhez szükségesek. Elsősorban a B vitamincsoport tagjai idéznek elő intenzív növekedést: thiamin, nikotinsav, piridoxin (B₁, B₃, B₆ vitamin). A vitaminok szempontjából a növényfajok és fajták igénye eltérő, valamint a táptalaj sókoncentrációja, a hőmérséklet és a pH erősen befolyásolja a vitaminok hatását.

Nem kevésbé elhanyagolható szerepük van a táptalajban az egyes növényi **hormonoknak**, növekedésszabályozó anyagoknak. Az első sikereket a szövettenyésztés területén az indol-ecetsav (IES) felfedezésekor érték el, felhasználásával folyamatosan növekedő kallusztényeszetekeket tudtak létrehozni. Az auxinoknak a sejtek megnyúlásos növekedésében és a gyökérképződésben van szerepük, a hatásuk azonban a koncentráció függvényében változik, emellett a többi növekedésszabályozóval együttesen fejtik ki hatásukat. Mivel az IES, valamint az IVS a hő (autokláv), illetve a fény hatására bomlik, a gyakorlatban a NES és a 2,4-D használatos. Táptalajhoz adott mennyiségük 0,05-100 mg/l között változik (JÁMBORNÉ, 2005.). A citokininek a sejtosztódásban, a differenciálódásban, a rejuvenilizációban és az apikális dominancia kialakításában játszanak szerepet. Lágyszárú növények mikroszaporításához leggyakrabban kinetint, fásszárú növények esetén benzil-adenint (BA) alkalmaznak. Az auxinok és citokininek együttes hatása indítja meg a kallusztényeszeten a morfogenezist. Hatásuk koncentrációfüggő, emellett a hormonok arányától függ, hogy kallusz képződik, vagy szervdifferenciálódás indul meg. A citokininek koncentrációja 0,01-30 mg/l között változik a táptalajokban (JÁMBORNÉ, 2005.). A gibberellinek a megnyúlásos növekedésben játszanak szerepet. Főként a fás növények

szövettenyésztésénél használják a juvenilitás elérésére, valamint az őszi időszakban indított kultúráknál, az aktív rügynyugalom megtörése céljából. A táptalajhoz adott GA₃ mennyisége 0,01-5 mg/l lehet. Az abszcizinsav gátló hatású hormon, azonban gibberellinokkal együtt alkalmazva szinergista hatást fejthet ki. A fent említett hormonok a legjelentősebbek a szövettenyésztésben, de más növekedésszabályozó anyagokat is felhasználnak, azonban ezek felhasználása nem általános (trijód-benzoesav, ancymidol, paclobutrazol, phloroglucinol, triakontanol, természetes serkentő anyagok).

A **szénhidrátok** táplálékforrásként (szénforrás) és az ozmózis szabályozóiként játszanak szerepet a táptalajban és a növényben egyaránt. Leggyakrabban a szacharózt alkalmazzák, esetleg egyszerű cukrok közül a glükózt és a fruktózt. Hatásukban lényeges különbség nincs, mivel autoklávozás során a szacharóz 25%-a egyszerű cukrokká bomlik. A tenyészetek szénhidrátigényét sok tényező befolyásolja: a faj, fajta, a kultúra szaporítási szakasza, a táptalaj más komponenseinek aránya. Mennyiségük a táptalajban nagyon tág intervallumon belül mozog: 0,15-100 g/l.

A **táptalaj szilárdító anyagok** közül az Agar-Agar terjedt el a legszélesebb körben. Tengeri vörösmoszatból készül, a táptalaj szilárdítását szolgálja, tömegszaporításra a minősége megfelelő, és viszonylag olcsó. Szilárd halmazállapotú, ezért a megfelelő hatás eléréséhez a táptalaj többi komponensével elegyítve fel kell főzni. Felhasznált mennyisége 6-10 g/l.

Néhány kivételes esetben használhatók **szerves nitrogénforrások** (merisztématenyésztés, egyes fajok magvainak csíráztatása).

Az **aktív szén** (AC) sem minden esetben használatos komponens. A fenolosodás problémáját hivatott megoldani elsősorban, mégpedig úgy, hogy a toxikus anyagokat megkötí. Azonban nem csak a káros anyagokat adszorbeálja, a hormonok is gyorsan kötődnek hozzá. Így a hormonok koncentrációját az AC-et tartalmazó táptalajokban a fent említett hatás kompenzálása érdekében emelni kell. A kationokat is adszorbeálja, így autoklávozás során a pH emelkedhet (0,5-0,7-tel). A táptalajt sötétíti, ennek a nehezen gyökeresedő növények esetében van jelentősége. Az AC táptalajban használatos koncentrációja 0,25-3 g/l (JÁMBORNÉ, 2005.).

2.6.4 A mikroszaporítás fizikai tényezői

A **fény** a növényi élet alapfeltétele, nélkülözhetetlen az asszimilációhoz. *In vitro* körülmények között azonban egyes esetekben más szerepe is van (hajtás-, gyökér-, esetleg gumóindukció). Hatása több tényezőre bontható. A fotoperiódus a fény/sötét szakasz periodikus váltakozását jelenti, a hajtás és gyökérindukció alapfeltétele. Általában 12-16/12-8 órás megvilágítás/sötétítés az ideális, de figyelembe kell venni a szaporítani kívánt növény élőhelyhez történő adaptációját is, általában a rövidnappalosoknak a hosszúnappalos megvilágítás kedvez a vegetatív fejlődésnek, a

hosszúnappalosoknak pedig a rövidnappalos megvilágítás. A fény hullámhossza az asszimiláció és az organogenezis szempontjából fontos, az endogén hormonszint megváltoztatásán keresztül hat a tenyésztetre. A vörös fény a növényi szövetben segíti a citokininek felhalmozódását, ezzel fokozza a hajtások számának növekedését. A gyökeresedésnek azonban nem kedvez, mert az auxinok mennyiségét csökkenti. A fényintenzitás az egységnyi területre jutó fénymennyiséget jelenti. A kultúrák átlagos fényigénye 1000-3000 lx. A gyökeresedési szakaszban általában a fényintenzitás csökkentése kedvezően hat (JÁMBORNÉ, 2005.).

A **hőmérséklet** hatása az intakt növények esetében nagyon fontos, *in vitro* kultúrák esetében viszont kritikus, hiszen nem tudnak védekezni a hőingadozás ellen. Az optimális hőmérséklet a legtöbb növény esetén 20-27 °C, de származástól függően tág határokon belül változhat (HUGHES, 1981.). A hőmérséklet a citokininek aktivitására is hatással van (emelkedő hőmérsékleten csökken az aktivitásuk), ezáltal a differenciálódási folyamatokat befolyásolja. A föld alatti módosulások differenciálódásában is jelentős szerepe van (JÁMBORNÉ, 2005.).

2.6.5 A burgonya mikroszaporítása

A burgonya esetében a mikroszaporítás a tömegszaporítás eszköze, az így létrehozott szaporítóanyagból primer, szekunder, majd vetőgumót állítanak elő. A burgonya fogékony szinte minden kórokozóra, és problémát jelent az is hogy a fajta szántóföldön leromolhat. Ezek a problémák mikroszaporításon alapuló technikával áthidalhatók. A szaporítóanyag előállításának fontos kritériuma a vírusmentesség. A merisztémaizolálás a vírusmentesítés egy módja, általában a meghajtatott, tesztelten vírusmentes gumó csúcsmerisztémáját preparálják ki, majd táptalajra helyezik. A merisztémából fejlődő hajtás egyrügyes darabjait átoltják. A módszer hajtástenyésztés, a szaporítás a levélhónaljban differenciálódott rügyeken alapul. Előnye, hogy nincsen de-, illetve redifferenciálódás, ezért kicsi az esélye a genetika változásoknak (HESZKY, 2000.).

Az egynóduszos hajtásdarabokat alap MS táptalajon nevelik, 16 órás fotoperiódus, 6-8000 lx fényerősség, 22-24 °C hőmérséklet mellett. Rövid időn belül (2-3 hét) járulékos hajtások fejlődnek, ezzel egyidejűleg járulékos gyökérképződés is történik. Ezek a tenyészetek közvetlenül alkalmasak üvegházi kiültetésre. A szaporítás végterméke lehet mikrogumó is, ehhez azonban hormonkezelés, vagy speciális megvilágítás szükséges. Előnye, hogy hosszabb ideig tárolható, könnyebben szállítható, és a mikrogumóból felnevelt növényeknél kisebb az akklimatizációs veszteség (DOBRÁNSZKI, MAGYARNÉ, 2005.).

3 Saját vizsgálatok

3.1 Anyag és módszer

A vizsgálatokat a keszthelyi Burgonyakutatói Központban végeztem, *in vitro*, kétkezeléses (két N-ellátási szint) kísérletben. Azért ezt a módszert választottuk, mert viszonylag olcsó, és gyorsabban kapunk adatokat, mint a szabadföldi kísérletek esetén. Az alkalmazott nitrogén kezelés alap Murashige-Skoog táptalajon történt, amely megfelel a Burgonyakutatói Központban a gyakorlatban használt táptalajnak, illetve fél nitrogén adagos Murashige-Skoog táptalajon, ahol az NH_4NO_3 és a KNO_3 koncentrációját a felére csökkentettük. Jelen kísérletben tíz genotípust vizsgáltunk, genotípusonként tíz-tíz egyed mindkét nitrogénes szinten, tehát összesen kétszáz egyed adatait felvételeztük, majd a kísérletet megismételtük. A kísérlet során egy holland (Desiree), és öt keszthelyi nemesítésű (Balatoni Rózsa, Hópehely, Katica, Lorett, White Lady) fajtát vizsgáltunk, valamint négy, a Burgonyakutatói Központban létrehozott nemesítési vonalat (00.35, Chipke, 01.536, 00.454). Az adatok felvételezése két, illetve három hetes növényeken történt. Mértük a gyökerek hosszát és a darabszámát, a hajtás hosszát, valamint a gyökér és a hajtás száraz tömegét. A genotípusok vegetatív fejlődéséből, a biomassa produkcióból, valamint a kontroll és a stresszhatásnak (N-hiány) kitett egyedek közti eltérésből képet kaphatunk a nitrogén-hasznosító képességről.

3.1.1 A kísérletben szereplő fajták és vonalak bemutatása

Balatoni Rózsa

Korai érésű, gumója nagy, ovális alakú, sötét rózsás héjú és rügyű, sárga húsú. Rügyei sekélyen ülnek. Szárazanyag-tartalma közepes (19-20%). Lombozata erős szárú, nagy levelű, nagy, matt, zöld színű levélkével. Virágzata közepesen dús, halványlila. Bőtermő, kiegyenlített gumóméretű. Korai tenyészideje ellenére hosszú nyugalmi idejű, kiválóan tárolható fajta. "B" főzési típusú, nem lisztes, finom hús szerkezetű, általános célú, kiváló ízű étkezési burgonya. Magas fokon rezisztens a burgonya Y, X, A vírusokkal szemben, levélsodródás vírussal szemben magas szántóföldi rezisztenciával rendelkezik. Lombfityórásával szemben közepesen fogékony. A burgonyarák (S. endobioticum) 1-es patotípusával szemben rezisztens. Gumóvarasodással, valamint a burgonya fonálféreg Ro1 és Ro4 rasszával szemben rezisztens. A 87.3143 x Kuroda keresztezéséből származik, állami minősítés éve 2007.

Hópehely

Középkorai érésű, gumója kerek-ovál alakú, nagy-középnagy méretű, sekélyen ülő rügyekkel, halványrózsaszínbe hajló, sárga héjjal, fehér hússal, a koronarészen rózsaszín szemekkel. Szárazanyag-tartalma közepes (19-20%). Lombozata közepes méretű, kevés vastag szárral, ovális, középzöld, nagy levélkéekkel. Virágzata átlagos, fehér színű. Bőtermő, korán nagy gumókat fejlesztő, nagyon jó alaktartó és jól tárolható fajta. "B" főzési típusú, nem szétfővő, finom szerkezetű, kiváló ízű étkezési burgonya. Magas fokozatú rezisztens a burgonya Y, X, A vírusokkal szemben. A levélsodródás vírussal szemben jó szántóföldi rezisztenciával rendelkezik. Lombfitofthorával és gumóvarasodással szemben közepesen ellenálló. A burgonya fonálféreg Ro1 és Ro4 rasszával szemben rezisztens. Származás: Ke 27 x NDK 71.17/6 N+B, állami minősítést 1997-ben kapott.

Katica

Középkorai érésű, gumója ovális alakú, fényes rózsaszín héjú, közepes méretű, sekélyen ülő rügyekkel. Szárazanyag-tartalma közepes (19-20%). Lombozata erős szárú, magas, közepes méretű sötétzöld levelekkel. Virágzata dús, nagy, cirmosan lila. Bőtermő, kiegyenlített gumóméretű, hosszú nyugalmi idejű, könnyen tárolható fajta. "B" főzési típusú, nem lisztes, finom hús szerkezetű, általános célú, kiváló ízű étkezési burgonya. Magas fokozatú rezisztens a burgonya Y, X, A vírusokkal szemben. A levélsodródás vírussal szemben magas szántóföldi rezisztenciával rendelkezik. Lombfitofthorával szemben közepesen fogékony. A burgonyarák 1-es patotípusával, gumóvarasodással, valamint a burgonya fonálféreg Ro1 és Ro4 rasszával szemben rezisztens. A Rioja x Turbo keresztezésből származik, állami minősítést 2007-ben kapott.

Lorett

Középkorai érésű, gumója hosszú-ovál alakú, nagyméretű, világos rózsaszín héjú, világossárga húsu, sekélyen ülő lila szemekkel. Szárazanyag-tartalma közepes (17-19%). Lombozata erős szárú, közepesen nagy, ovális, középzöld levélkéekkel. Virágzata dús, nagy, kékes-ibolya színű. Rendkívül bőtermő, hosszú nyugalmi idejű fajta. "B" főzési típusú, nem szétfővő, általános célú étkezési burgonya. Magas fokozatú rezisztens a burgonya Y, X, A vírusokkal szemben. A levélsodródás vírussal szemben jó szántóföldi rezisztenciával rendelkezik. Lombfitofthorával szemben közepesen ellenálló, gumóvarasodásra kissé fogékony. Származás: 79.60 x Chieftain, állami minősítés éve 2002.

White Lady

Középkorai érésű, gumója kerek-ovál alakú, közepes, világossárga héjú és húsu, sekélyen ülő rügyekkel. Szárazanyag-tartalma magas (20-21%). Lombozata közepesen erős szárú, nem pigmentált, világoszöld, nagy levélkéekkel. Virágzata dús, nagy, fehér, jó illatú. Bőtermő, hosszú nyugalmi idejű, jól tárolható fajta. "C" főzési típusú, enyhén lisztes, finom szerkezetű étkezési

burgonya. Magas fokon rezisztens a burgonya Y, X, A vírusokkal szemben. A levélsodródás vírussal szemben jó szántóföldi rezisztenciával, lombfitofitóriával szemben magas rezisztenciával rendelkezik. Gumóvarasodással, valamint a burgonya fonálféreg Ro1 és Ro4 rasszával szemben rezisztens. Származása: Ke 40 x NDK 71.17/6 N+B keresztezésből, állami minősítést 1994-ben kapott.

Desiree

Középkorai érésű, gumója nagy, hosszúkás ovális, felszíne egyenletes, rügyei sekélyen helyezkednek el. Héja rózsaszínű, húsa sárgás. Lombozata sötétzöld, levélkéi lándzsa alakúak. Virágzata közepes nagyságú, lilás-vörös színű. Bőtermő, hosszú nyugalmi idejű, jól tárolható fajta. "B" főzési típusú, kissé szétfővő, felhasználhatósága sokoldalú. A levélsodródás vírus (PLRV) iránt nagyon, az Y-vírus (PVY)- és komplexei iránt közepesen fogékony, gumóvarasodásra nagyon fogékony. Holland fajta, fiziológiai stabilitása kiemelkedő.

00.35

Középkorai érésű, gumója gömbölyű-ovális, héja sárga, húsa fehér. "C" főzési típusú, szétfővő. A burgonya Y, A vírusokkal szemben rezisztens, fonálféreg iránt fogékony, burgonyarákkal szemben rezisztens.

Chipke

Középkorai érésű, gumója gömbölyű, héja sárga, húsa sötét sárga. "C" főzési típusú, szétfővő. A burgonya Y, A vírusokkal szemben rezisztens, fonálféreg és burgonyarák iránt fogékony.

01.536

Középkorai érésű, gumója gömbölyű-ovális, héja sárga, húsa sárga. "C" főzési típusú, szétfővő. A burgonya Y, A vírusokkal szemben rezisztens, fonálféreg iránt fogékony, burgonyarákkal szemben rezisztens.

00.454

Korai érésű, gumója ovális, héja rózsaszín, húsa sárga. "B" főzési típusú, kissé szétfővő. A burgonya Y, A vírusokkal szemben rezisztens, fonálféreg iránt fogékony, burgonyarákkal szemben rezisztens.

3.1.2 A táptalaj

A kontroll növények nevelése a MURASHIGE és SKOOG (1962.) által meghatározott MS táptalajon történt. Az MS táptalaj készítéséhez szükséges összetevőket 8 különböző törzsoldat tartalmazza, melyeket a leírás szerint állítottunk össze. Ezek pontos összetételét az **1. táblázat** mutatja. Egy liter táptalaj készítéséhez 500 ml ioncserélt vízben először 30 g szacharózt oldottunk fel, majd hozzáadtunk mérőhenger segítségével 100 ml makroelem törzsoldatot és 10 ml Fe-Na-

EDTA törzsoldatot. Ezután pipetta segítségével hozzáadtunk 1-1 ml kálium-jodid, mikroelem és vitamin törzsoldatot, 0,2 ml Ca pantotenát, 2,9 ml CaCl_2 , és 0,2 ml GA_3 törzsoldatot, majd 0,5 ml PPM oldatot, a fertőzések megakadályozása céljából. Az így kapott oldatot 900 ml-re töltöttük fel ioncserélt vízzel, és beállítottuk a pH-ját 5,8 értékre 0,1 n KOH oldattal. Ezután 8 g agart adtunk hozzá, majd hitelesített főzőpohárban 1 literre töltöttük fel az oldatot. Az így kapott elegyet mikrohullámú sütőben felforraltuk az agar feloldása céljából. Utána a táptalajt 90 °C-ra lehűtöttük és összekevertük, majd automata bürettával kémcsövekbe adagoltuk, egyenként 10-10 ml-t, összesen 100 db kémcsövet töltöttünk meg.

1. táblázat: MS táptalaj összetétele

Makroelem törzsoldat (100 ml)	NH_4NO_3	16,5 g/l
	KNO_3	19 g/l
	$\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$	3,7 g/l
	KH_2PO_4	1,7 g/l
Mikroelem törzsoldat (1 ml)	H_3BO_3	0,62 g/100ml
	$\text{MnSO}_4 \times 4\text{H}_2\text{O}$	2,23 g/100ml
	$\text{ZnSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$	0,86 g/100ml
	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$	25 mg/100ml
	$\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$	2,5 mg/100ml
	$\text{CoCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$	2,5 mg/100ml
CaCl_2 törzsoldat (2,9 ml)	CaCl_2	15 g/100ml
KJ törzsoldat (1 ml)	KJ	83 mg/100ml
Fe-Na-EDTA (10 ml)	$\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$	2780 mg/100ml
	Na_2EDTA	3730 mg/100ml
Ca-pantotenát törzsoldat (0,2 ml)	Ca-pantotenát	100 mg/100ml
GA_3 törzsoldat (0,2 ml)	GA_3	10 mg/100ml
Vitamin törzsoldat (1 ml)	Nikotinsav	50 mg/100ml
	Thiamin HCl	10 mg/100ml
	Piridoxin HCl	50 mg/100ml
	Glicin	200 mg/100ml
	Mezo-inozit	10 g/100ml

Az alkalmazott nitrogén-kezelés fél nitrogén adagos MS táptalajon történt. Ez azt jelenti, hogy a makroelem törzsoldatban a NH_4NO_3 és a KNO_3 koncentrációját a felére csökkentettük. Első

lépésként ezért a fél nitrogén adagos makroelem törzsoldatot kellett elkészíteni. Először 50 ml ioncserélt vízben feloldottunk 0,825 g NH_4NO_3 -ot, majd hozzá adagoltunk 0,95 g KNO_3 sót, 0,37 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ -t, és 0,17 g KH_2PO_4 -ot, összekevertük, végül 100 ml-re egészítettük ki. A táptalaj készítésének menete és a további összetevők teljesen megegyeztek az alap MS táptalajával. Végül a fél nitrogén adagos táptalajból is 100 db kémcsövet töltöttünk meg.

A kémcsöveket ezután műanyag kupakkal lezártuk, majd autoklávban sterilizáltuk 120 °C-on 20 percig. Miután kihűlt, a növényanyagot a táptalajra helyeztük.

3.1.3 A növényanyag felszaporítása

A vizsgált genotípusok a Burgonyakutatói Központ génbankjában rendelkezésre álltak. A tenyészeteket alap MS táptalajon *in vitro* nevelték. A szaporításhoz a tenyészet hajtáscsúcsát használtuk. A megfelelő sterilitás biztosítása érdekében a szaporítást lamináris boxban végeztük. A boxot minden használat előtt alkohollal fertőtlenítettük. A boxba beépített UV cső germicid hatása révén lehetővé tette a munkaasztal és az eszközök (csipeszek, ollók) sterilizálását.

Egy tenyészetből 20 hajtáscsúcsot vágtam olló segítségével, ezután csipesszel a táptalajt tartalmazó kémcsőbe, a táptalajra helyeztem azt. Egy genotípusból 10 hajtáscsúcsot az alap, 10 hajtáscsúcsot a fél nitrogén adagos MS táptalajt tartalmazó kémcsővekbe helyeztem, minden kémcsőbe 1-1 hajtáscsúcsot. Ezután a kémcsöveket kupakkal és fóliával zártam le. Munka közben az eszközöket elektromos fűtésű eszközfertőtlenítővel sterilizáltam. A folyamat a **8. ábrán** követhető nyomon. Mivel összesen tíz genotípust vizsgáltunk, genotípusonként tíz-tíz egyed mindkét nitrogén szinten, ezért összesen kétszáz egyed szaporítása történt.

A tenyészet nevelése állandó hőmérsékleten (22 °C), 16 órás fotoperiódus mellett történt. A fény hullámhossza 460-660 nm-es, erőssége 2500 lux volt. A tenyészeteket két, illetve három hétig neveltük e körülmények között, a vizsgálatok ennek megfelelően két, illetve három hetes növényanyagon történtek. A két felvételezés után az egész kísérletet megismételtük.



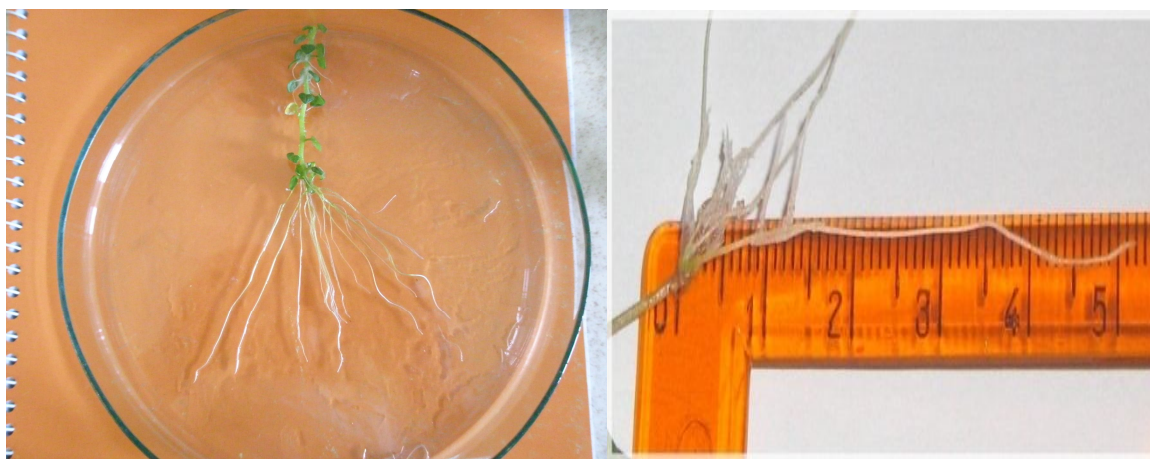
8. ábra: A szaporítás műveletei. A lamináris box (balra fent). A tenyészet a hajtáscsúcs eltávolítása előtt (jobbra fent). A hajtáscsúcs táptalajra helyezése (balra lent). Az egyedek elongáció és gyökeresedés közben (jobbra lent). *(Saját fotók)*

3.1.4 A növényanyag vizsgálata

Egy vizsgálat alkalmával összesen 100 egyed adatait felvételeztük, minden genotípusból 5-5 egyedet mindkét nitrogén szinten, így ötismétléses kísérletet végeztünk. Két felvételezést végeztünk, egyet két hetes, egyet három hetes növényanyagon.

A felvételezéskor a növényeket a táptalajból kihúztuk, a gyökerekről a felesleges táptalaj maradványokat lemostuk. Kiterítettük egy üveglapra, és kiegyenesítettük a hajtást, illetve a gyökereket, ezután megkezdtuk a mérést. A gyökerek hosszát egyesével mértük le vonalzóval, mm-ben, illetve meghatároztuk a gyökerek darabszámát (**9. ábra**). A hajtás hosszát szintén vonalzóval mértük, mm-ben. A mért adatokat Excell táblázatban rögzítettük.

A már lemért növényeket az egész vizsgálat során genotípusonként rendszereztük (természetesen külön az egész, illetve fél nitrogén kezelésben részesítetteket), majd szétválasztottuk a hajtást a gyökértől. Szárítószekrényben légszárazra szárítottuk, majd a száraz tömeget analitikai mérleggel lemértük mg-ban, természetesen ezt is külön nitrogén kezelésenként, illetve genotípusonként. Az adatokat szintén Excell táblázatban rögzítettük.



9. ábra: A növényanyag mérése. A növény kiterítve (balra). A gyökér hosszának mérése (jobbra).
(Saját fotók)

3.1.5 Az adatok feldolgozása

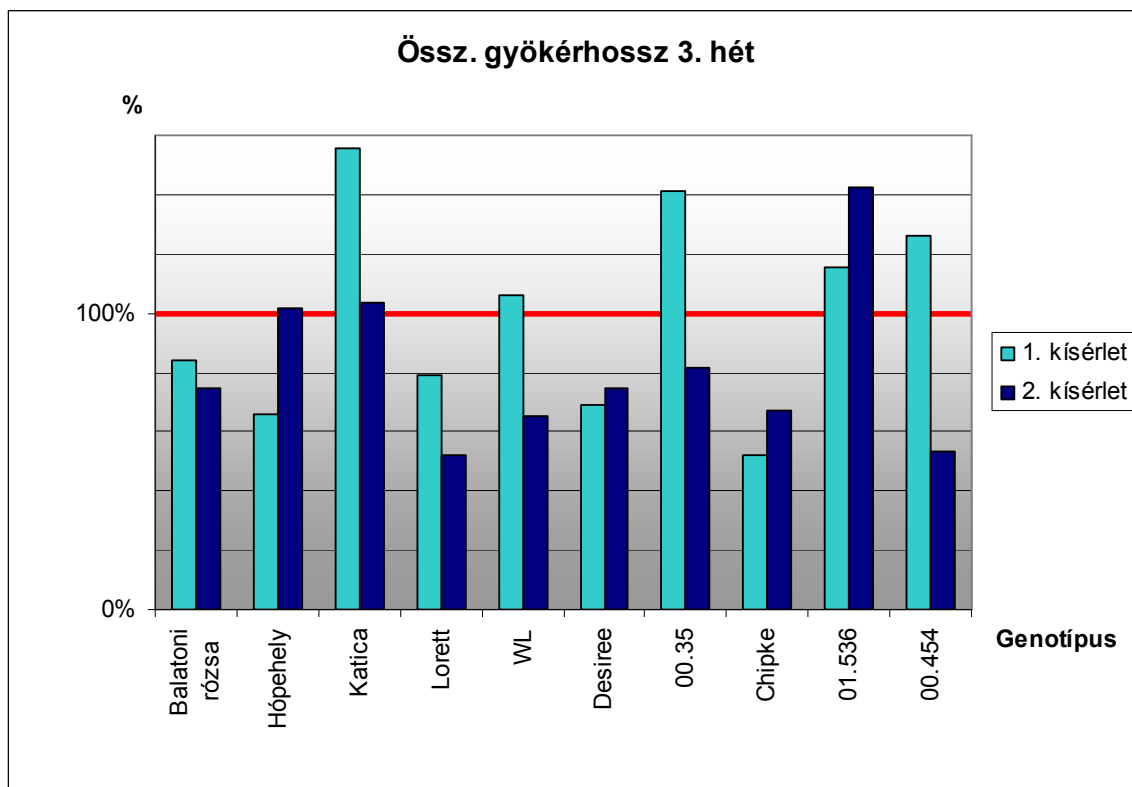
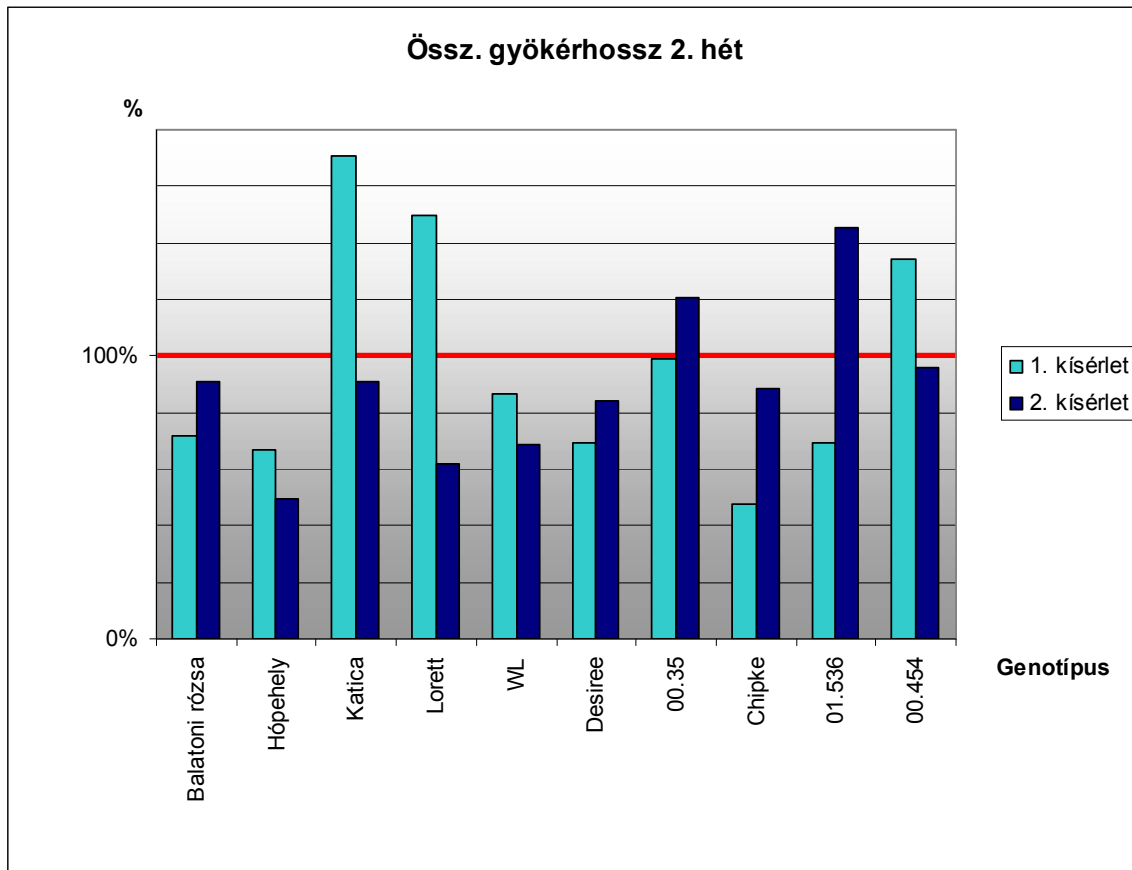
A gyökerek hosszát, darabszámát, száraz tömegét, és a hajtás hosszát, száraz tömegét táblázatban rögzítettük. Növényenkénti összes gyökérhosszt, átlagos gyökérhosszt, összes szárazanyag tartalmat és hajtás/gyökér arányt (hossz és tömeg szempontjából egyaránt) számoltunk. A kapott értékeket átlagoltuk, szórást számítottunk, és az adatokat így értékeltük ki. Kiszámítottuk a tömötséget is (mg/mm). Az így kapott értékeket diagramokon ábrázoltuk, a jobb átláthatóság miatt. Összehasonlíthatók az egész és fél nitrogén-kezelés, a két illetve három hetes, és az első, illetve a második kísérlet eredményei. A táblázatokban átlagokkal dolgoztunk genotípusonként. Az átlag fogalma miatt az így kapott eredmények torzítanak ugyan, de a nagyszámú növényegyed miatt csak így tudtuk szemléltetni a kapott adatokat. Próbálkoztunk regresszió számítással is, de az időtényező (2, illetve 3 hét) kevésnek bizonyult, legalább 3 különböző időpontban történő mérés kellett volna az idősorhoz.

3.2 Eredmények és értékelésük

3.2.1 Gyökérhossz

A mért adatok sokrétűsége miatt többféle szempont alapján megközelíthetjük azok kiértékelését. Az első szempont a gyökér hosszúsága. Beszélhetünk átlagos gyökérhosszról, amely az egyed gyökér hosszainak számtani közepe (gyökerek hosszainak összege/ a gyökerek darabszáma), valamint összes gyökérhosszról, amely a növényegyed egyes gyökér hosszainak összege mm-ben. Az átlagos gyökérhossz nem ad pontos információt a felvevő felületről, csupán a felszívási zóna átlagos

mélységét mutatja. A gyökerek darabszámával kiegészítve azonban jobban felhasználható. Ezért a szemléltetésre inkább az összes gyökérhosszat használtuk, mivel ez pontos információt nyújt a felvevő felületről. A kísérletek eredményeit a **10. ábra** mutatja.



10. ábra: Összes gyökérhossz két, illetve három hetes kezelés esetén

A felső ábra a 2. hetes, az alsó ábra a 3. hetes mérési időpontok eredményeit tartalmazza. Mindkét ábrán világos színnel az 1. kísérlet, sötét színnel a 2. kísérlet adatait ábrázoltuk. Az X tengelyen a genotípusok láthatók, az Y tengelyen a genotípusok eredményei. Az eredményeket % -ban adtuk meg, a fél N kezelés adatait az egész N %-ában (a 100% az egész N adagos kezelés eredménye, ehhez képest szemléltettük a fél N adagos kezelés eredményeit). A módszer gyakorlatilag megegyezik a statisztikában használatos volumenindex számítással. Azért ezt a módszert alkalmaztuk, mert szemléletes, és egy diagramon lehet ábrázolni a két kezelést úgy, hogy az áttekinthető maradjon.

Arra a kérdésre kerestük a választ, hogy a nitrogén hiány miképp befolyásolja a gyökérfejlődést. Összehasonlítva a 2., illetve a 3. hetes mérési időpontok eredményeit, hasonlóságot és különbségeket egyaránt tapasztalhatunk. A Balatoni rózsza, Katica, White Lady, Desiree, Chipke mind arányaiban (1. és 2. kísérlet), mind teljesítményben (hossznövekedés) hasonlítanak. A Hópehely esetében a 3. hét, 2. kísérletben magasabb értéket kaptunk, de az 1. kísérletben hasonló értékek mutatkoznak mind a 2., mind a 3. héten. A Lorett esetében a 2. kísérlet eredményei hasonlóak mind 2., mind 3. hetes mérési időpontban, viszont az 1. kísérletben a 2. héten kiugróan magas eredményt kaptunk. A fél N adagos 00.35 vonal fejlődése a 2. héten mindkét kísérletben eléri az egész N adagos fejlődését, a 3. héten azonban az 1. kísérletben kiugróan magas eredményt kaptunk (tehát meghaladta a fél N adagos egyedek fejlődése az egész N adagosokét), míg a 2. kísérletben alacsony értéket mértünk. A 01.536 vonal eredményei hasonlóak a két mérési időpontban a 2. kísérletben, mindkettőben meghaladták az egész N adagos egyedek fejlődését, de az 1. kísérletben jelentős eltérés tapasztalható. A 00.454 vonal esetében épp ellenkezőleg, az 1. kísérlet eredményei hasonlóak, a 2. kísérlet eredményei jelentősen különböznek.

A 2., illetve a 3. hetes mérési időpontokban tapasztalható különbségeket a növények eltérő fejlődési ütemével lehet magyarázni. Egyes genotípusok esetében már a 2. héten képesek nagy felvevő felület kialakítására, ezzel próbálva kompenzálni a N hiányt. Más genotípusok esetén ez csak később alakul ki. Összességében megállapítható, hogy a 3. hét adatai magukba foglalják a 2. hét adatait is, ezért célszerűbb inkább a 3. hetes adatokat elemezni.

A Katica, 00.35, 01.536 esetében bizonyosan állíthatjuk, hogy a fél N adagos kezelés hatására a gyökérhossz növekedés pozitív, féladagú N-nel nagyobb gyökérhosszat mértünk. A Balatoni rózsza, Lorett, White Lady, Desiree, Chipke esetében a fél N adagos kezelés negatívan hatott a gyökérhossz növekedésre, nem érték el a kontroll által produkált eredményeket. A többi genotípus esetében a kapott eredmény nem egyértelmű. Kevés genotípus múlta felül a kontrollt a gyökérhossz növekedés tekintetében, de ez nem jelenti azt, hogy a felvevő felület bizonyosan kisebb volt a többi genotípusnál. A hossz ugyanis csak egy dimenzió. Érdekes lenne ezért megnézni a további paramétereket. Mivel a gyökerek keresztmetszetét nehezen lehet a gyakorlatban pontosan

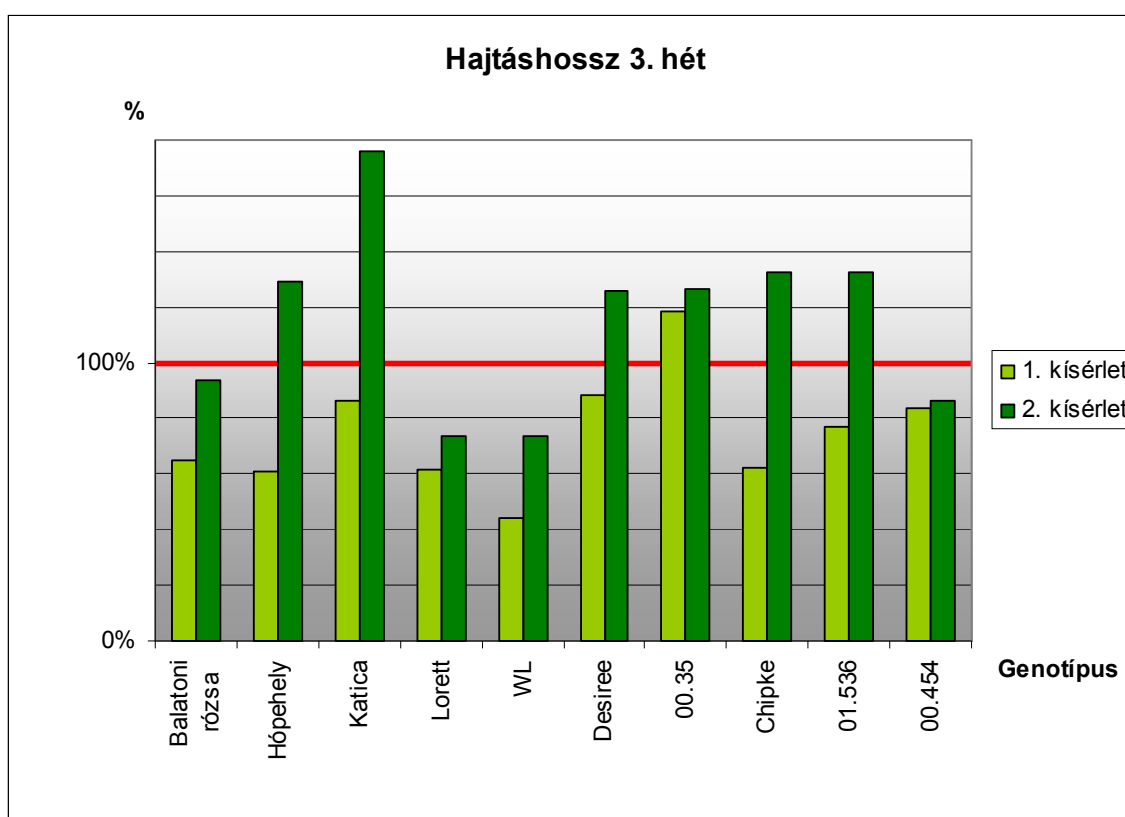
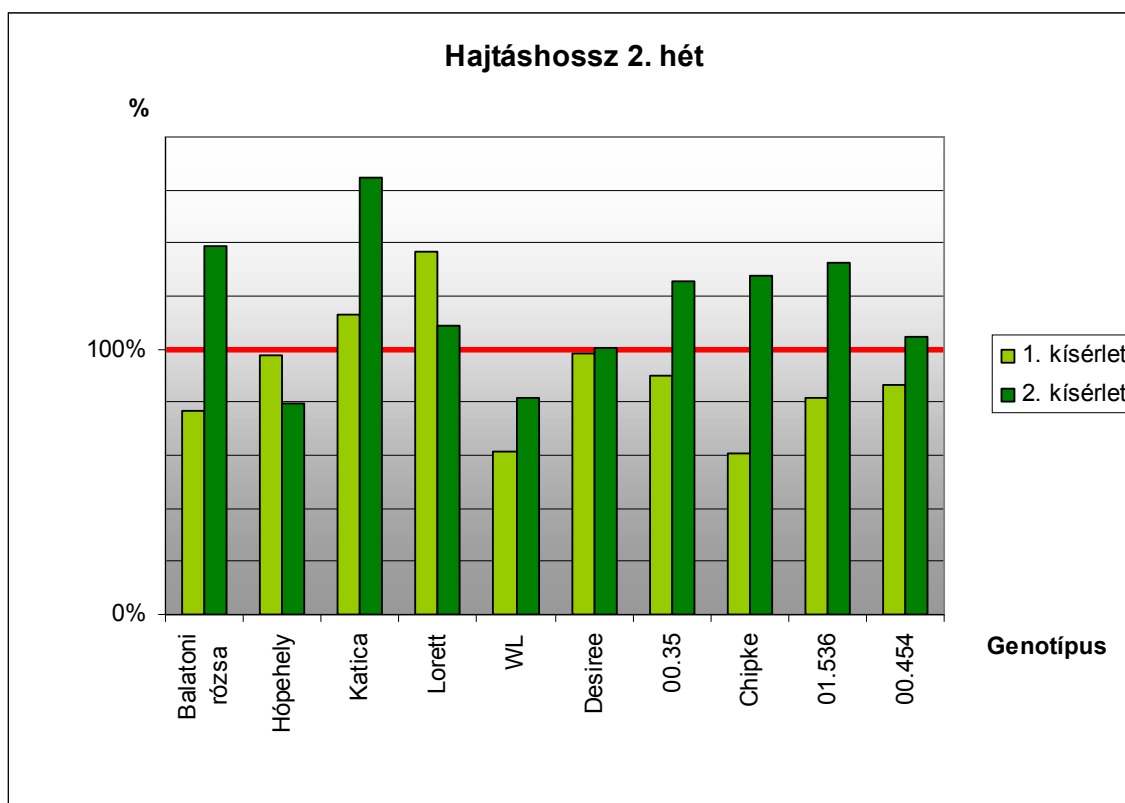
meghatározni, ezért a szárazanyag termelést érdemes megvizsgálni. Előtte azonban a hajtás növekedését kövessük nyomon.

3.2.2 Hajtáshossz

Az értékelés másik szempontja a hajtás hosszúsága. Mivel a növények az esetek döntő többségében nem neveltek elágazást, így nem kell átlagos és összes hajtáshosszról beszélnünk. Kivételes esetben előfordult, hogy oldalhajtás fejlődött a főhajtásból, de ennek hossza a főhajtás töredéke volt. Ilyen esetben az oldalhajtás hosszát a főhajtás hosszához adtuk. A kapott eredményeket a **11. ábra** mutatja, amely a gyökérhossz ábrával teljesen analóg, értelmezése hasonlóképpen történik. Ha összehasonlítjuk a 2., illetve a 3. hetes mérési eredményeket, itt is tapasztalhatunk hasonlóságokat, illetve különbségeket. A Katica, White Lady, Desiree, 00.35, Chipke, 01.536, 00.454 esetében hasonló eredményeket kaptunk. A Chipke és a 01.536 esetében ez a hasonlóság olyannyira nagymértékű, hogy gyakorlatilag az értékek egyezéséről is beszélhetünk. A Balatoni rózsza eredményei az 1. kísérletben hasonlóan alakulnak, de a 2. kísérletben eltérőek, 2. hetes felvételezéskor kiugró értéket kaptunk. A Hópehely és a Lorett rendkívül eltérő eredményeket mutat mind arányaiban (1. és 2. kísérlet), mint az értékek szempontjából. A Katica, Desiree, 00.35, 00.454 hasonlóak, csak kis eltérés tapasztalható az értékekben, amely különbség felléphetett a mérési hibából kifolyólag is. Érdemes megfigyelni a 2. hetes felvételezéskor a Desiree, illetve a 3. hetes felvételezéskor a 00.35 és a 00.454 eredményeit. Az 1. és a 2. kísérletben itt alig tapasztalható eltérés. A White Lady esetében egyértelműen negatív, míg a Katica, 00.35, Chipke, 01.536 esetében pozitív eredményt kaptunk, tehát nagyobb hajtást fejlesztett féladagú N hatására az esetek többségében.

A hajtáshossz növekedés értékei a két mérési időpontban sokkal kiegyenlítettebbek, nem tapasztalhatók olyan nagy mértékű és számú eltérések, mint a gyökérhossz esetén. Ebből arra következtethetünk, hogy a N hiány hatása a hajtásfejlődésre közvetett, hiszen a növény a N hiányt a hajtás hosszának növelésével nem tudja kompenzálni.

A megismételt kísérletek között mutatkozó eltérésekre azonban egyértelmű választ nem tudunk adni. Valószínű, hogy a két kísérlet indításának eltérő ideje okozta a változást. A mikroszaporításban ugyanis megfigyelték, hogy a növények a mesterségesen fenntartott és kontrollált körülmények ellenére másképp növekednek az év különböző időszakában. Ezért a kísérlet újbóli megismétlése szükséges.



11. ábra: Hajtáshossz két, illetve három hetes kezelés esetén

Kevés genotípusról mondható el egyértelműen, hogy 100%-ot, vagy afeletti értéket produkált. Ebből arra következtethetünk, hogy a N-hiány visszaveti a lombzat fejlődését. Ugyanakkor itt is

elmondható, hogy a hajtás hossza csak egy dimenzió, érdekesebb a biomassa produkcióval számolni, sokkal megbízhatóbb értékeket kapunk.

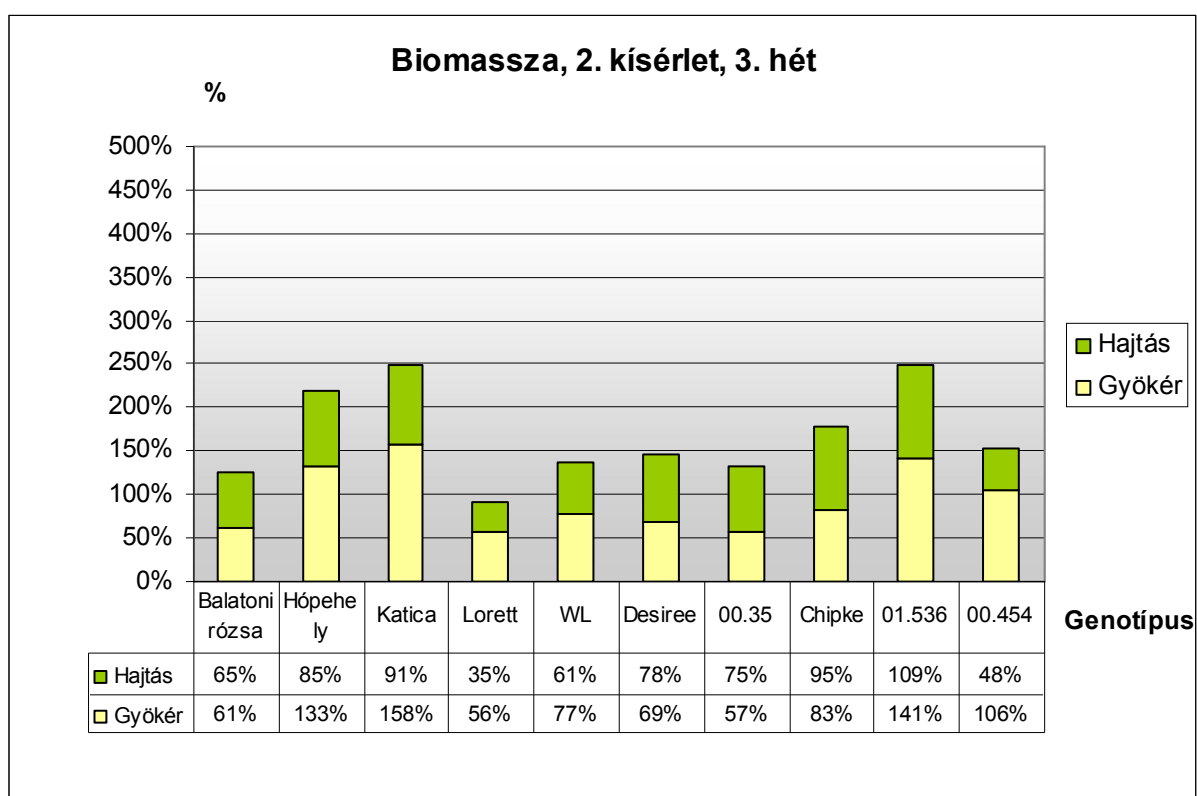
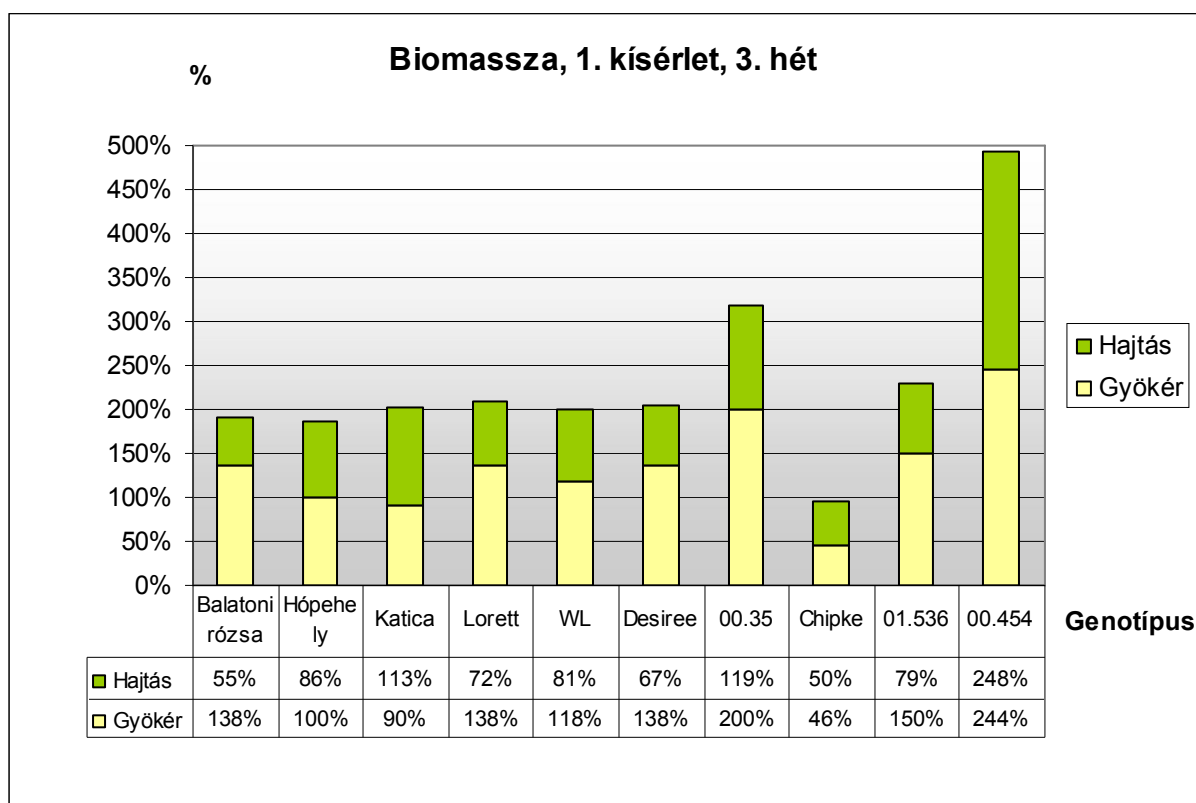
3.2.3 Biomassa produkció

A biomassa produkciót a növények száraz tömege adja. A kapott eredményeket a **12. ábra** mutatja.

Csak a 3. hetes mérési eredményeket tüntettük fel, mivel az 1. kísérlet alkalmával a 2. hetes felvételezéskor még nem mértük a száraz tömeget. Ezért a 2. kísérlet 2. hetes mérési eredményeit nem tüntettük itt fel, mivel nem lehetne komplex összehasonlításokat végezni.

Hasonlóan az előző ábrákhoz, a biomassa produkció esetében is a fél N kezelés adatait az egész N %-ában adtam meg, de egy ábrán megtekinthető a hajtás és a gyökér biomassa produkció, valamint a hajtás és gyökér biomassa produkciójának egymáshoz viszonyított aránya is látható. Hasonlóan az előbbi ábrákhoz, az X tengelyen a genotípusok, az Y tengelyen a genotípusok eredményei láthatók. Emellett az adattáblában tételesen felsoroltuk külön a hajtás és a gyökér adatai. Az oszlopok felső része a hajtás, az alsó része a gyökér értékeit mutatja.

Megtévesztő lehet az oszlopok magassága, ez nem az összes szárazanyag tartalom arányát mutatja (fél és egész adagú N tekintetében), csak a szemléletesség kedvéért ábrázoltam így. Előfordulhat olyan eset, hogy például már a gyökér biomassa produkciója fél N adagos kezelés esetén nagyobb, mint egész N adagos kezelésnél (tehát nagyobb, mint 100%), ennek ellenére az összes biomassa produkció nem éri el a 100%-ot. Ez azért van így, mert az esetek többségében a gyökér biomassa produkciója kisebb adagú N-nél nőtt, de mivel a hajtás tömegéhez képest a gyökér tömege jelentősen kisebb, az összes biomassa produkció nem nőtt, az esetek többségében kevesebb volt. Tehát az összes biomassa produkcióban a hajtás tömege a meghatározó, így ez nem ad pontos információt a gyökérre vonatkozóan. Az összes biomassa produkciót szemléltető ábrát ezért nem használtam fel a dolgozatban.



12. ábra: Biomassza produkció, 3. hetes mérési eredmények

Az 1. kísérlet eredményei alapján megállapítható, hogy a genotípusok többségében a kisebb adagú N hatására nagyobb gyökértömeget mértünk. A Hópehelynél nem történt változás a kezelés hatására, gyakorlatilag félmennyiségű N-nel ugyan akkora mennyiségű biomasszát produkált, mint

egész adagúval. A Katica esetében is hasonlóan alakultak az eredmények (ugyan enyhe csökkenés volt megfigyelhető, de ez elhanyagolható, a mérési hiba miatt is lehetséges). Kiugróan magas értékeket tapasztalhatunk a 00.35, és a 00.454 vonalaknál, itt a féladagú N hatására a gyökértömeg a duplájára nőtt. A Chipke esetében a kezelés hatására a gyökér és a hajtástömeg egyaránt a felére csökkent. A hajtástömeg viszont az esetek többségében kisebb volt a kontrollhoz képest. Érdekes, hogy a Katica esetében, ahol a gyökértömeg kissé kevesebb volt a fél N-es kezelés hatására, a hajtástömeg enyhén növekedett. Azoknál a genotípusoknál, ahol a gyökér szárazanyag tartalma jelentősen nőtt (00.35 és 00.454 vonalak), a hajtás tömege is nőtt a kezelés hatására. A 00.35-nél kis mértékben, viszont a 00.454-nél a hajtás tömege is a duplájára nőtt a kontrollhoz képest. A Hópehely és a Katica, illetve a 01.536 esetében a kontrollhoz viszonyított kis mértékű eltérés miatt megállapítható, hogy a kezelés hatására a biomassza produkció nem változott, tehát a féladagú N-t úgy tudta hasznosítani, mint az egész adagút.

A 2. kísérlet eredményei részben mást mutatnak, mint az 1. kísérlet. Míg az 1. kísérletben a 00.35 és a 00.454 esetében kiugróan magas eredményeket láttunk, addig a 2. kísérletben a 00.35 esetében egyértelmű csökkenés, a 00.454-nél a hajtástömeg tekintetében csökkenés figyelhető meg a N kezelés hatására, a gyökértömeg esetében nem történt változás. Az 1. kísérletben a kezelés hatására a Chipke szárazanyag tartalma a felére csökkent, a 2. kísérletben nem történt változás. A Balatoni rózsza, Lorett, White Lady, Desiree gyökértömege csökkent a kisebb adagú N hatására. A 01.536 gyökértömege nőtt, hasonlóképpen, mint az 1. kísérletben. A Hópehely, a Katica és a 01.536 a 2. kísérletben is hasonlóan jó teljesítményt nyújtottak, mint az 1. kísérletben, sőt, a gyökértömeg mindkét esetben magasabb értéket vett fel a kezelés hatására (bár a Katicánál a hajtástömeg enyhe csökkenése volt megfigyelhető, ez azonban jelentkezhet a mérési hibából is). Erről a három genotípusról mondható el egyértelműen, hogy mindkét kísérletben úgy hasznosították a féladagú N-t, mint az egész adagút, tehát a nitrogén-hasznosító képességük jobb a többi genotípushoz képest.

A többi genotípus tekintetében a megismételt kísérletek között mutatkozó jelentős eltérések miatt a kísérlet újbóli megismétlése szükséges.

Az értékelés során további diagramokat, ábrákat is készítettünk, ezek azonban nem kerültek a dolgozatba. Közülük néhány megtalálható a **mellékletben (13-16. ábra)**.

4 Összefoglalás

A burgonya rendkívül sokoldalúan felhasználható kultúrnövény. Gumója népelelmezési szempontból nagyon fontos, beltartalmi összetételénél fogva a legértékesebb nagy mennyiségben fogyasztott táplálékunk, ugyanakkor állati takarmányozásra, élelmiszeripari felhasználásra egyaránt alkalmas. Napjainkban a Világon 329,6 millió tonnát takarítanak be, a termőterület 18,3 millió ha, az átlagtermés 18 t/ha. Alkalmazkodóképességének köszönhetően a burgonya az Egyenlítőtől a sarkkörökig szinte bárhol termesztethető.

A növény igényeinek a mérsékelt meleg, kissé hűvös, csapadékos és párás időjárású területek felelnek meg a legjobban. Magyarország földrajzi fekvése, éghajlati viszonyai a burgonyatermesztés szempontjából kedvezőtlenebbek, mint a tőlünk északra - észak-nyugatra fekvő országokban. Hazánkban legmegfelelőbbek a humuszos homoktalajok, a homokos vályog- és vályogos homoktalajok vízáteresztő altalajjal, valamint a csernozjom barna erdőtalajok a burgonya termesztésére.

A tápanyagok közül a nitrogén befolyásolja legnagyobb mértékben a burgonya termésmennyiségét és minőségét. Kedvezően hat a gyökérsejt-osztódásra, a kezdeti fejlődésre, az asszimilációs felület gyors kialakítására. A termés biztonsága és a megfelelő hozam biztosításának érdekében elengedhetetlen az ásványi trágyák használata. Azonban még a növény igényeihez igazodó nitrogén-visszapótlás mellett is a kijuttatott tápelem mennyiségének kevesebb, mint a fele hasznosul a növényben. A nitrogén fennmaradó része a környezetet terhelő anyagként jelenik meg, mind a levegőben, mind a vizekben.

A műtrágyák előállítása során a levegő nitrogénjét használjuk fel, mindez a Haber-Bosch eljárással valósítható meg. Ezen technológia energiaigénye meglehetősen nagy, emiatt a N-műtrágya gyártása rendkívül költséges, ráadásul a nitrogén rossz hasznosulása miatt nagyban hozzájárul a környezetet terheléséhez. A növény által fel nem használt nitrogént a talajban mikroorganizmusok denitrifikálják, és a nitrogén egy része (N_2O , vagy ammónium formában) a légkörbe kerül. Kevesek számára ismert, hogy az N_2O üvegház-hatása 296-szorosa a CO_2 üvegház-hatásának. A N_2O a sztratoszférikus ózonréteg elvékonyodását idézi elő, nagyban hozzájárul az üvegházhatáshoz. A növény által fel nem használt N másik része a felszíni vizekben eutrofizációt indít el, az ivóvízbe kerülve pedig mérgezést is okozhat. Kijelenthetjük tehát, hogy a nitrogén műtrágyák előállítása és felhasználása költséges és erősen terheli a környezetet. Ezért szükséges olyan fajtákat előállítani, amelyek a tápanyagot jobb hatásfokon hasznosítják, és amelyek használatával csökkenthető a kijuttatott nitrogén mennyisége, ezzel együtt javul a termelés gazdaságossága, és csökken a környezet terhelése.

A burgonyafajták nitrogén-hasznosító képessége tekintetében a külföldi kutatási eredmények nagy változatosságot mutattak. A hazánkban termesztett fajtákkal és nemesítési anyagokkal azonban csak az utóbbi időben kezdődtek meg a vizsgálatok.

A kísérletem célja az volt, hogy néhány, a Burgonyakutatói Központban nemesített fajta nitrogén hasznosító képességéről adatokat kapjunk. A vizsgálatokat a keszthelyi Burgonyakutatói Központban végeztem, *in vitro*, kétkezeléses (két N-ellátási szint) kísérletben. Az alkalmazott nitrogén kezelés alap Murashige-Skoog táptalajon történt, amely megfelel a Burgonyakutatói Központban a gyakorlatban használt táptalajnak, illetve fél nitrogén adagos Murashige-Skoog táptalajon, ahol az NH_4NO_3 és a KNO_3 koncentrációját a felére csökkentettük.

Jelen kísérletben tíz genotípust vizsgáltunk, genotípusonként tíz-tíz egyedet mindkét nitrogén szinten, tehát összesen kétszáz egyed adatait felvételeztük, majd a kísérletet megismételtük. A kísérlet során egy holland (Desiree), és öt keszthelyi nemesítésű (Balatoni Rózsa, Hópehely, Katica, Loretta, White Lady) fajtát vizsgáltunk, valamint négy, a Burgonyakutatói Központban létrehozott nemesítési vonalat (00.35, Chipke, 01.536, 00.454). Az adatok felvételezése két, illetve három hetes növényeken történt. Egy vizsgálat alkalmával összesen 100 egyed adatait felvételeztük, minden genotípusból 5-5 egyedet mindkét nitrogén szinten, így ötismétléses kísérletet végeztünk. Mértük a gyökerek hosszát és a darabszámát, a hajtás hosszát, valamint a gyökér és a hajtás száraz tömegét. Növényenkénti összes gyökérhosszt, átlagos gyökérhosszt, összes szárazanyag tartalmat számoltunk, a kapott értékeket átlagoltuk, szórást számítottunk, és az adatokat így értékeltük ki. A genotípusok vegetatív fejlődéséből, a biomassa produkcióból, valamint a kontroll és a stresszhatásnak (N-hiány) kitett egyedek közti eltérésekből képet kaphatunk a nitrogén-hasznosító képességről.

Az értékelés során arra kerestünk választ, hogy a N-hiány miképp befolyásolja a növekedést. Az eredményeket gyökérhossz, hajtáshossz és biomassa produkció tekintetében értékeltük. Ennek során a 2. és a 3. hetes mérési eredmények, valamint az 1. és 2. kísérlet eredményei között nagyfokú heterogenitást tapasztaltunk. A 2., illetve a 3. hetes mérési időpontokban tapasztalható különbségeket a növények eltérő fejlődési ütemével lehet magyarázni, viszont a megismételt kísérletek között mutatkozó eltérésekre egyértelmű választ nem tudunk adni. Valószínű, hogy a két kísérlet indításának eltérő ideje okozta az eltérést, ezért a kísérlet újbóli megismétlése szükséges. Három genotípusról, a Hópehelyről, a Katicáról és a 01.536-ról volt elmondható egyértelműen, hogy a kezelés hatására a biomassa produkció egyik kísérletben sem csökkent, tehát a féladagú N-ből ugyanakkora szervesanyag tömeget hozott létre, mint a teljes (szokásos) N forrásból.

Az eddigi eredmények azt mutatják, hogy a vizsgált genotípusok/fajták nitrogén hasznosító képességében nagymértékű heterogenitás mutatkozik, mely a jobb nitrogén-hasznosító képességű fajták nemesítésének lehetőségét kínálja. A két kísérlet eredményeiben mutatkozó különbségek

miatt a kísérlet újbóli megismétlése szükséges. Emellett szeretnénk még több genotípust bevonni a vizsgálatokba.

Megjegyezném, hogy az *in vitro* eredmények nem konvertálhatók egy az egyben a szántóföldi viselkedésre. Kísérletemben viszont a genotípusok közti különbségre voltunk kíváncsiak a NUE tekintetében, gyakorlatilag egy rangsor felállítása volt a cél.

5 Köszönetnyilvánítás

Ez úton szeretnék köszönetet mondani konzulensemnek, Dr. Hoffmann Borbála tanszékvezető egyetemi docensnek, aki mindig szakított időt rám, rengeteg tudásanyagot bocsátott a rendelkezésemre, és mindig segítőkész volt, ha megakadtam a dolgozatírás közben.

Köszönettel tartozom Dr. Polgár Zsoltnak, a Burgonyakutatói Központ igazgatójának, aki biztosította számomra a lehetőséget és a feltételeket a kísérletek elvégzésére, valamint rendelkezésemre bocsátotta a kísérletben szereplő növényanyagról szóló információkat.

Köszönet illeti Tiszáné Kogler Lilla vezető laboránst, aki nagy türelemmel vezetett be a mikroszaporítás rejtelmeibe, valamint a Burgonyakutatói Központ dolgozóit, akik segítségével a kísérleteimet csak nagy nehézségek árán tudtam volna elvégezni.

A jelen dolgozatban bemutatott munka a TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0025 azonosítójú projekt támogatásával valósult meg.

6 Felhasznált irodalom

BACSÓ N. (1966.): Bevezetés az agrometeorológiába. Mezőgazdasági kiadó, Budapest. In: Lőrincz J. (szerk.): A burgonya termesztése. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. p.38.

BEKE L. (1930.): A burgonya. Pátria, Budapest. In: Lőrincz J. (szerk.): A burgonya termesztése. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. p.13.

BERTSCH K.-BERTSCH F. (1949.): Geschichte unserer Kulturpflanze. Wiss. Verlagsges, Stuttgart. 213-219. p. In: Lőrincz J. (szerk.): A burgonya termesztése. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. p.12.

BOCZ E. (1992.): Burgonya. In: Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazda Kiadó, Budapest. p.575-577., p.579., p.588-591.

BODOR E. (1994.): Szervetlen kémia III. Veszprémi Egyetemi Kiadó, Veszprém. p.379.

CASSMAN, KENNETH G., DOBERMANN, ACHIM R., WALTERS, DANIEL T. (2002.): Agroecosystems, Nitrogen-use Efficiency, and Nitrogen Management. Agronomy - Faculty Publications. Ambio Vol. 31 No. 2, March 2002. p.356. <http://digitalcommons.unl.edu>

CHAILLOU, S., LAMAZE, T. (2001.): Ammoniacal nutrition of plants. In: Nitrogen Assimilation by Plants (*szerk.* J. Morot-Gaudry) Plymouth Sciences Publishers, Plymouth, U.K., p.53-69.

CHEMGUIDE: <http://www.chemguide.co.uk/physical/equilibria/haber.html>

COOPER, H.D., CLARKSON, D.T. (1989): Cycling of amino nitrogen and other nutrients between shoots and roots in cereals. A possible mechanism integrating shoot and root into the regulation of nutrient uptake. J. Exp. Bot., 40, p.753-762.

COSCHIGANO, K.T., MELO-OLIVEIRA, R., LIM, J., CORIZZI, G.M. (1998.): *Arabidopsis* gls mutants and distinct Fd-GOGAT genes. Implications for photorespiration and primary nitrogen assimilation. Plant Cell, 10, p.741-752.

CRAWFORD, N.M. (1995.): Nitrate: nutrient and signal for plant growth. Plant Cell, 7, p.857-868.

DIBB, DAVID W., FIXEN, PAUL E., STAUFER, MARK (2003.): Fertilizer Use Efficiency: the North American Experience. 71st IFA Annual Conference, Philadelphia, USA, 26-29 May 2003. <http://www.fertilizer.org>

DOBRÁNSZKY J., MAGYARNÉ TÁBORI K. (2005.): A burgonya mikroszaporítása. In: Jámborné Benczúr E.-Dobránszki J. (*szerk.*): Kertészeti növények mikroszaporítása. *In vitro* növényklónozás. Mezőgazda Kiadó, Budapest. p.156-163.

DONEY, SCOTT C. (2010.): The Growing Human Footprint on Coastal and Open-Ocean Biogeochemistry. REVIEW, Science 328, 1512 (2010.); www.sciencemag.org

FAO: <http://faostat.fao.org>

FÁRI M. (2005.): *In vitro* mikroszaporító laboratórium alapvető berendezései és eszközei. In: Jámborné Benczúr E.-Dobránszki J. (szerk.): Kertészeti növények mikroszaporítása. *In vitro* növényklónozás. Mezőgazda Kiadó, Budapest. p.100-104.

GALLOWAY, JAMES N. (2006.): The Global Nitrogen Cycle: Changes and Consequences. AMS Environmental Science Seminar Series, March 21. 2006. p.11., p.35.

<http://www.ametsoc.org/atmospolicy>

GAZZARRINI, S., LEJAY, L., GOJON, A., NINNEMANN, O., FROMMER, W.B., von WIREN, N. (1999.): Three functional transporters for constitutive, diurnally regulated, and starvation-induced uptake of ammonium into *Arabidopsis* roots. *Plant Cell*, 11. p.937-947.

GEORGE E. (1987.): Plant Culture Media Vol.1. In: Jámborné Benczúr E.-Dobránszki J. (szerk.): Kertészeti növények mikroszaporítása. *In vitro* növényklónozás. Mezőgazda Kiadó, Budapest. p.39.

GLASS, A.D.M., SHAFF, J.E., KOCHIAN, L.V. (1992.): Studies of the uptake of nitrate in barley. IV. Electrophysiology. *Plant Physiol.*, 99, p.456-463.

GLASS, A.D.M., SIDDIQI, M.Y. (1995.): Nitrogen absorption by plants roots. In: Nitrogen Nutrition in Higher Plants. Associated Publishing Co., New Delhi, p.21-56.

HEFOP 3.3.1 (2008.): Debreceni Egyetem, elektronikus jegyzet. p.16.

www.agr.unideb.hu/ktvbsc/dl2.php?dl=24/3_eloadas.ppt

HEGEDŰS Á.-NÉ (2005.): Felszíni sterilitás. In: Jámborné Benczúr E.-Dobránszki J. (szerk.): Kertészeti növények mikroszaporítása. *In vitro* növényklónozás. Mezőgazda Kiadó, Budapest. p.33-36.

HERMANOVA V., BARTA J., CURN V. (2007.): Wild Potato Species: Characterization and Biological Potential for Potato Breeding. In: Increasing the efficiency of potato resistance breeding with traditional and molecular genetic methods. In: Ahmad Mousapour Gorji, PhD Thesis. p.13.

HESZKY L. (2000.): Az ivartalan szaporítás biotechnológiája. In: Dudits D.-Heszky L. (szerk.): Növényi biotechnológia és géntechnológia. Agroinform Kiadó, Budapest. p.97-128.

HIREL, B. – BERIN, P. – QUILLERE, I. – BOURDONCLE, W. – ATTAGNANT, C. – DELLAY, C. – GOUY, A. – CADIOU, S. – RETAILLIAU, C. – FALQUE, M. – GALLAIS, A. (2001.): Towards a better understanding of the genetic and physiological basis for nitrogen use efficiency in maize. *Plant Physiol*, 125, p.1258-1270.

HIREL, B., LEA, P. (2002.): The biochemistry, molecular biology and genetic manipulation of primary ammonia assimilation. In: *Photosynthetic Nitrogen Assimilation and Associated Carbon and Respiratory Metabolism* (szerk. C.Foyer & G.Noctor), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, p.71-92.

HOFFMANN B. a, (2011.): A nitrogén-hasznosító képesség. In: *Növénygenetika. Szerk.: Hoffmann Borbála*, 2011. TÁMOP-4.1.2-08/1/A-2009-0010 projekt keretében készült tananyag-fejlesztés. p. 33-36.

HOFFMANN B. b, (2011.): A növények nitrogén táplálkozásának genetikai alapjai. In: *Növénygenetika. Szerk.: Hoffmann Borbála*, 2011. TÁMOP-4.1.2-08/1/A-2009-0010 projekt keretében készült tananyag-fejlesztés. p. 20-32.

HOFFMANN B., HOFFMANN S., POLGÁR ZS. (2010.): A nitrogén hasznosítás növelésének lehetőségei a burgonya nemesítésében. *Georgikon napok*, 2010. p.1-2.

HORVÁTH S. (1997.): A vetőburgonya-termesztés agrotechnikai követelményei. In: Sárközi F. (szerk.): *Amit a vetőburgonyáról tudni kell. Második kiadás*. Budapest. p.84.

HORVÁTH S. (2003.): Burgonya. In: Koháry Erzsébet (szerk.): *Eleven örökség. Kenyér- és káсанövények a Kárpát-medencében*. Agroinform Kiadó, Budapest. p.81-82., p.85-86.

HORVÁTH S. (2004.): A burgonya és szaporítása. In: Bedő Z. (szerk.): *A vetőmag születése. A vetőmagtermesztés elmélete és gyakorlata*. Agroinform Kiadó, Budapest. p.455., p.472.

HUANG, N.C., CHIANG, C.S., CRAWFORD, N.M., TSAY, Y.F. (1996.): CHL1 encodes a component of the low-affinity nitrate uptake system in *Arabidopsis* and shows cell type-specific expression in roots. *Plant Cell*, 8, p.2183-2191.

HUGHES, K. W. (1981.): *In vitro* ecology: exogenous factors affecting growth and morphogenesis in plant culture systems. *Envir. Exp. Bot*, 21, p.281-288.

JÁMBORNÉ BENCZÚR E. (2005.): A táptalaj. In: Jámborné Benczúr E.-Dobránszki J. (szerk.): Kertészeti növények mikroszaporítása. *In vitro* növényklónozás. Mezőgazda Kiadó, Budapest. p.39-59.

KOHÁRY E. (2003.), Szerk.: Eleven örökség. Kenyér- és kásanövények a Kárpát-medencében. Agroinform Kiadó, Budapest. p.81.

KRUPPA J. (1998.) Szerk.: A burgonya és termesztése I. Agroinform Kiadó, Budapest. p.40.

KRUPPA J. (1998.) Szerk.: A burgonya és termesztése II. Agroinform Kiadó, Budapest. p.53-58.

KRUPPA J. (2004.): Burgonya. In: Izsáki Z.- Lázár L. (szerk.): Szántóföldi növények vetőmagtermesztése és kereskedelme. Mezőgazda Kiadó, Budapest. p.422-449.

KSH: <http://www.ksh.hu>

LÁNG G. (1961.): Növénytermesztés. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.

LEJAY, L., GANSEL, X., CEREZO, M., TILLARD, P., MULLER, C., KRAPP, A., von WIREN, N., DANIEL-VEDELE, F., GOJON, A. (2003.): Regulation of root ion transporters by photosynthesis: functional importance and relation with hexokinase. *Plant Cell*, 15, p.2218-2232.

MARÓTI M. (2005.): A növényi szövettenyésztés története. In: Jámborné Benczúr E.-Dobránszki J. (szerk.): Kertészeti növények mikroszaporítása. *In vitro* növényklónozás. Mezőgazda Kiadó, Budapest. p.11-19.

MEDGYES S.-NÉ (szerk., 2004.): Fizika. In: Négyjegyű függvénytáblázatok, összefüggések és adatok. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest. p.218.

- MÉSZÁROS F. (1979.): A burgonya származása és elterjedése. In: Lőrincz J. (szerk.): A burgonya termesztése. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. p.7-11
- MEYER, C., STITT, M. (2001.): Nitrate reduction and signalling. In: Plant Nitrogen (szerk. P.J. Lea & Morot-Gaudry, J.F.), Springer-Verlag, Berlin, p.37-59.
- MEYNARD, J.M., CERF, M., GUICHARD, L., JEUFFROY, M.H., MAKOWSKI, D. (2002.): Which decision support tools for the environmental management of nitrogen? *Agronomie*, 22. p.817-829
- MURASHIGE, T.-SKOOG, F. (1962.): A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant*, 155, p.473-497.
- NÉMETH T. (1981.): A burgonya tápanyagfelvételi görbéjének alakulása a tenyészidő folyamán. In: A növények ásványi táplálkozása és a műtrágyázás. Tudományos Tanácskozás 1980. április 28-29., Gödöllő. Agrártudományi Egyetem, Gödöllő. p.206-213.
- NÉMETH T. (2002.): Talajaink nitrogén-tartalma és a nitrogén trágyázás. *Acta Agraria*, 2002.09., elektronikus jegyzet. p.3. www.date.hu/acta-agraria/2002-09/nemeth.pdf
- NÉMETH T. (2003.): A nitrogéntrágyázás és környezetvédelmi megítélése az EU-ban. Gyakorlati AGROFÓRUM. 14. évf., 3. szám.
- O'BRIEN, M. - MULLINS, E. (2008.): Relevance of genetically modified crops in light of future environmental and legislative challenges to the agri-environment. *Annals of Applied Biology*, Article, ISSN 0003-4746. 28 October 2008. p.3.
- POLGÁR ZS. (1996.): Szomatikus hibridizáció alkalmazásának lehetőségei a burgonya- és a napraforgónemesítésben. Kandidátusi értekezés, 1996.
- POLGÁR ZS. (2005.): Biotechnológiai módszerek alkalmazása a burgonyanemesítésben. In: Jámborné Benczúr E.-Dobránszki J. (szerk.): Kertészeti növények mikroszaporítása. *In vitro* növényklónozás. Mezőgazda Kiadó, Budapest. p.165.

SATTELMACHER, B., F. KLOTZ, H. MARSCHNER. (1990.): Influence of the nitrogen level on root growth and morphology of two potato varieties differing in nitrogen acquisition. *Plant and Soil* 123. p.131-137.

SCHJOERRING, J.K., HUSTED, S., MACK, G., MATTSSON, M. (2002.): The regulation of ammonium translocation in plants. *J. Exp. Bot.*, 53, p.883-890.

TAS L. (1997.): Vetőburgonya szaporítás, felújítás. In: Sárközi F. (szerk.): Amit a vetőburgonyáról tudni kell. Második kiadás. Budapest. p.11.

TRUEMAN, L.J., RICHARDSON, A., FORDE, B.G. (1996.): Molecular cloning of higher plant homologues of the high-affinity nitrate transporters of *Chlamydomonas reinhardtii* and *Aspergillus nidulans*. *Gene*, 175, p.223-231.

TUTÁDSTÁR AZ ÉLELMISZER-GAZDASÁGRÓL: <http://tudastar.elelmiszerklub.hu>

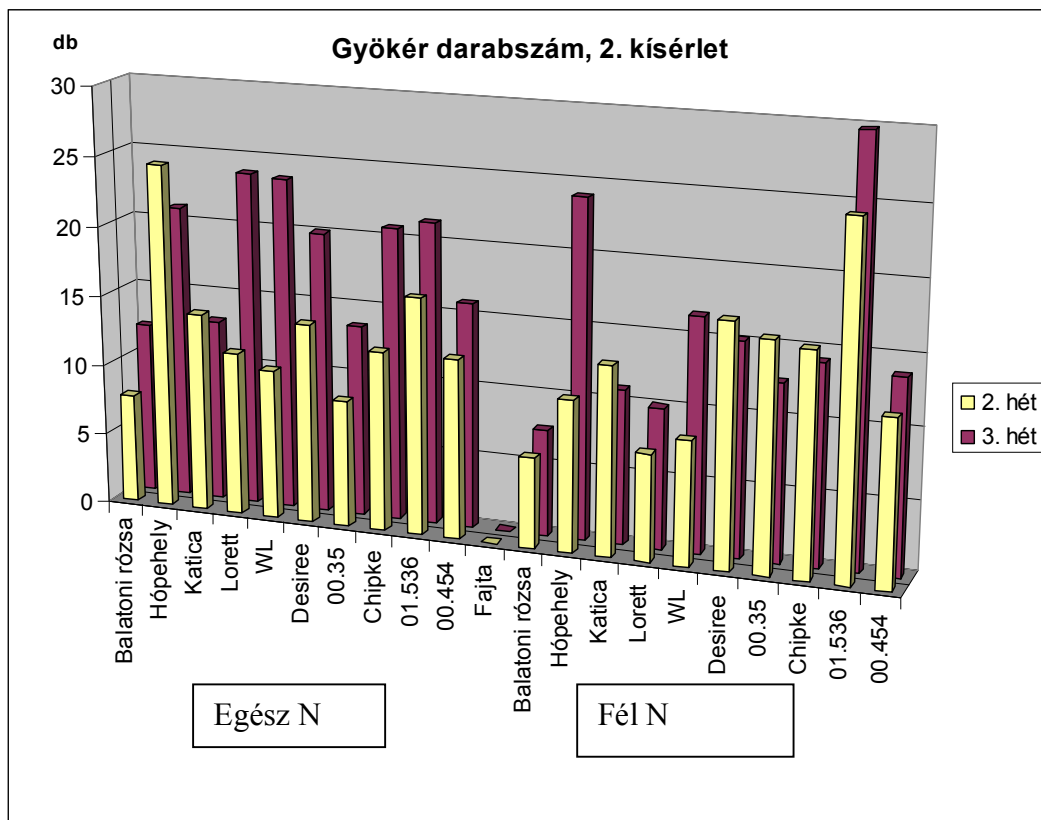
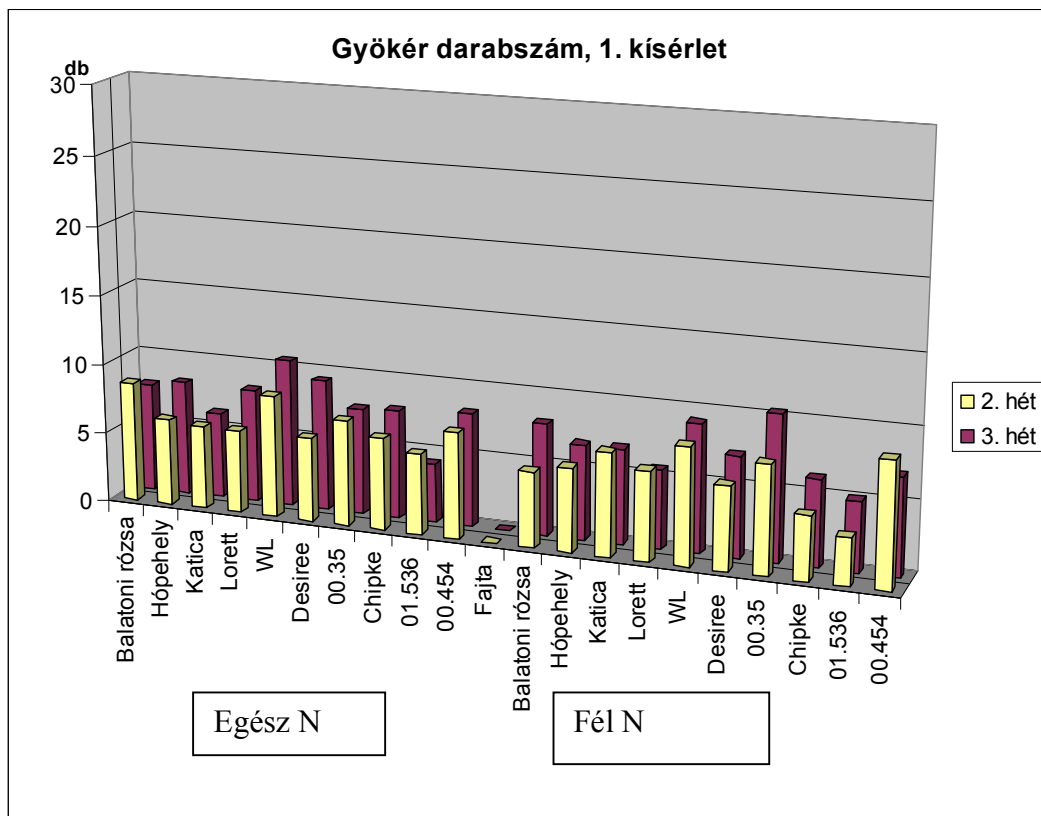
VAN DER ZAAG, D. E. - BEUKEMA, H. P. (1999.): Bevezetés a burgonyatermesztésbe. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest. p.57.

WANG, Y.H., GARVIN, D.F., KOCHIAN, L.V. (2001.): Nitrate-induced genes in tomato roots. Array analysis reveals novel genes that may play a role in nitrogen nutrition. *Plant Physiol.*, 127, p.345-359.

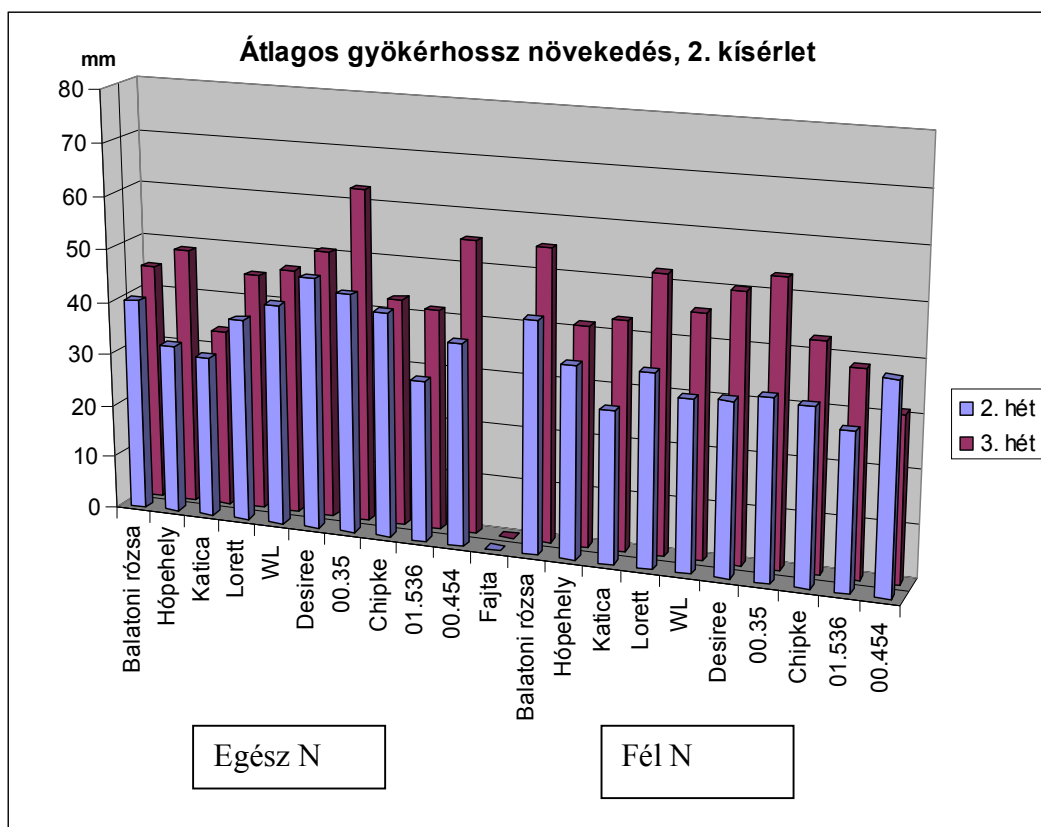
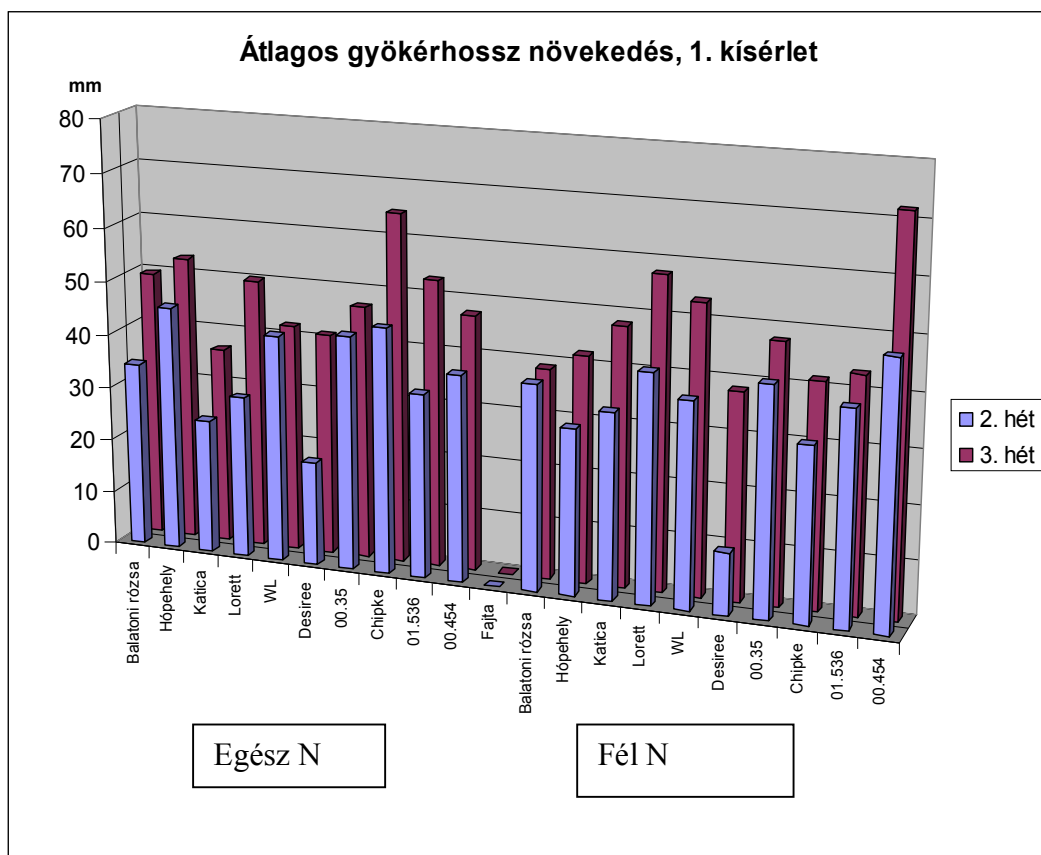
WITHERS, A. (1986.): Plant tissue culture and its agricultural application. In: Jámborné Benczúr E.-Dobránszki J. (szerk.): Kertészeti növények mikroszaporítása. *In vitro* növényklónozás. Mezőgazda Kiadó, Budapest. p.18.

ZEBARTH B. J., T. R. TARN, H. DE JONG, A. MURPHY (2008.): Nitrogen Use Efficiency Characteristics of Andigena and Diploid Potato Selections *Am. J. Pot Res* 85. p.210-218.

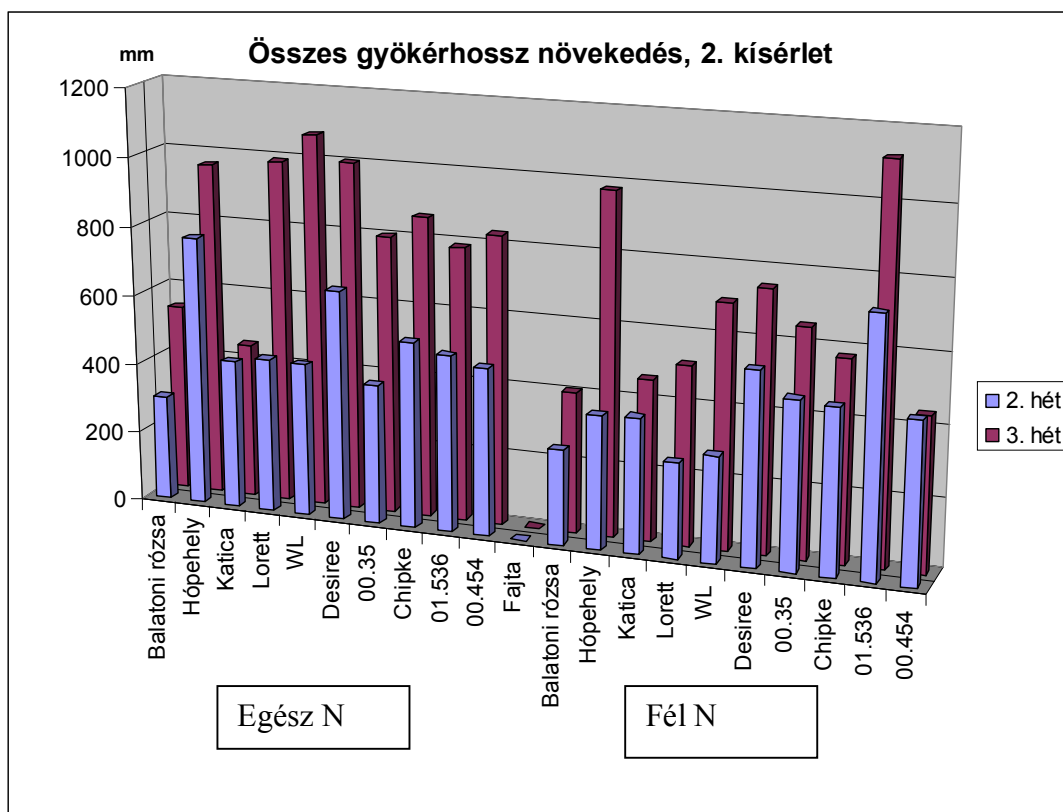
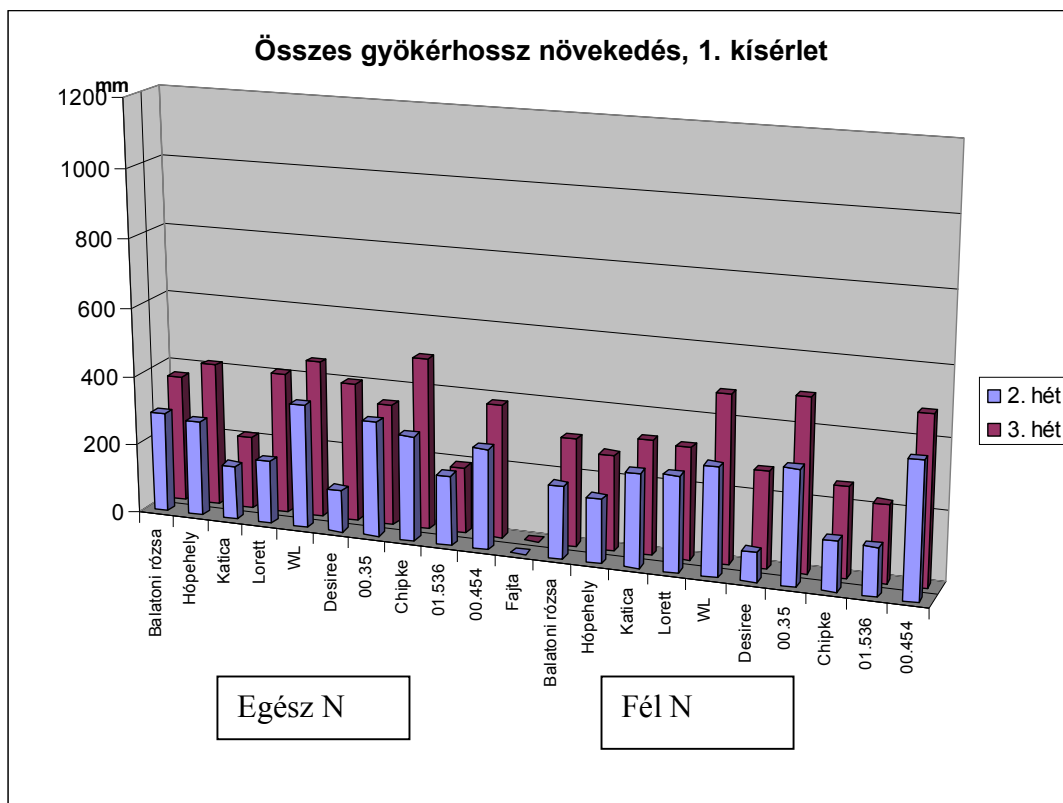
Melléklet



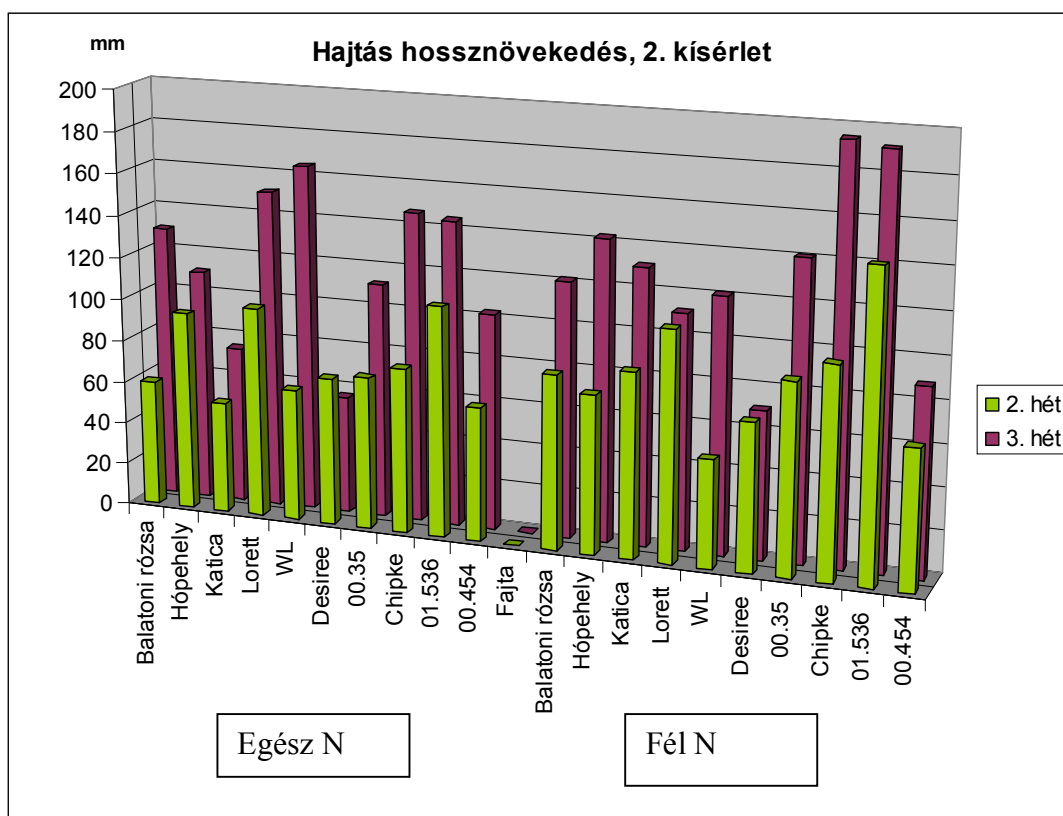
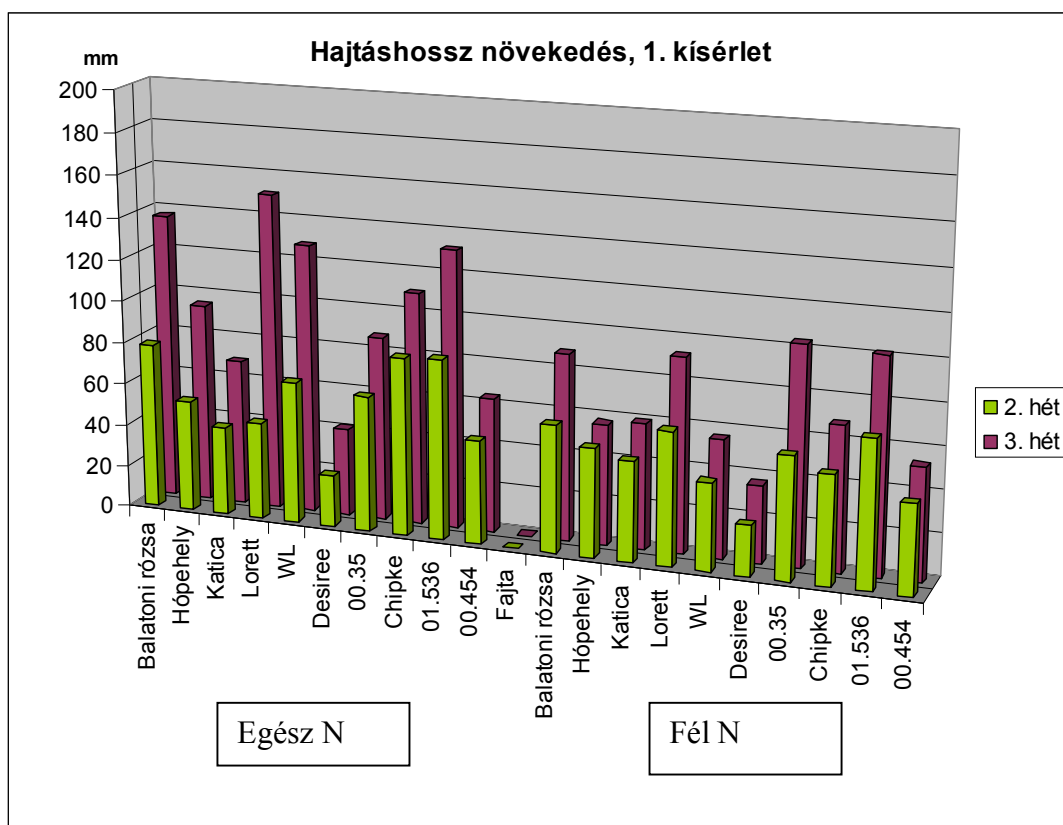
13. ábra: Gyökér darabszám alakulása kísérletenként



14. ábra: Átlagos gyökérhossz alakulása kísérletenként



15. ábra: Összes gyökérhossz alakulása kísérletenként



16. ábra: Hajtáshossz alakulása kísérletenként