



**Országos Tudományos Diákköri
Konferencia
2015**



**BURGONYA GENOTÍPUSOK KORAI FEJLŐDÉSE A
NITROGÉN-ELLÁTÁS FÜGGVÉNYÉBEN**

Készítette: Esztergályos Ádám, IV. 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, jelentősége	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 Éghajlati igény	5
2.2.2 Talajigény	6
2.2.3 Nitrogén-ellátás	6
2.3 A nitrogén hasznosulása	6
2.3.1 A nitrogén műtrágyák felhasználása	6
2.3.2 A nitrogén műtrágyák előállítás	8
2.3.3 A nitrogén hasznosulása a növényben	8
2.4 A nitrogénhasznosító képesség	11
2.5 A növények nitrogén-táplálkozása	12
2.5.1 A nitrogén felvétele	12
2.5.2 A nitrát és az ammónia mozgása a növényben	13
2.5.3 Az ionok felvételének szabályozása	13
2.5.4 A nitrogén asszimilációjának szabályozása	14
2.6 <i>In vitro</i> szaporítás	16
2.6.1 Az <i>In vitro</i> szaporítás történeti áttekintése	16
2.6.2 A sterilitás jelentősége	17
2.6.3 A táptalaj komponensei	18
2.6.4 A mikroszaporítás abiotikus tényezői	20
2.6.5 A burgonya mikroszaporítása	20
3 Saját vizsgálatok	21
3.1 Anyag és módszer	21
3.1.1 A kísérletben szereplő genotípusok jellemzői	22
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 elemzése	27
3.2 Eredmények és értékelésük	27
3.2.1 Gyökérhossz	27
3.2.2 Hajtáshossz	30
3.2.3 Biomassza produkció	32
3.2.4 Korreláció analízis	34
3.2.5 A kísérlet ismételhetősége	35
4 Összefoglalás	38
5 Köszönetnyilvánítás	40
6 Felhasznált irodalom	41

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 (*Solanum tuberosum* L.) rendkívül sokoldalúan felhasználható kultúrnövény. Gumója népelelmezési szempontból nagyon fontos, ugyanakkor állati takarmányozásra, élelmiszeripari felhasználásra egyaránt alkalmas, emellett gyógyszeripari nyersanyag. 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 „Újvilági” faj, a Világ fennmaradó részén ismeretlen volt egészen az 1500-as évekig (HERMANOVA et al., 2007.). Napjainkban a Világon 368,4 millió tonnát takarítanak be, a termőterület 19,3 millió ha (FAO, 2013.).

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**, EUROSTAT).

Napjaink nagy feladata a források, illetve a befektetett energia minél magasabb hatásfokon történő felhasználása. A növény termesztésében kiemelt szerepe van a nitrogénnek, hiszen ez az a tápelem, amely a termés mennyiségét és minőségét a legnagyobb mértékben befolyásolja. 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 fel nem vett nitrogén szennyezőanyagként jelenik meg a levegőben és vizekben egyaránt (GALLOWAY, 2006.).

A műtrágyák előállítása során a levegő nitrogénjét használjuk fel, mindez a Haber-Bosch eljárással valósítható meg (BODOR, 1994.). A szintézis energiaigénye meglehetősen nagy, emiatt a N-műtrágya gyártása rendkívül költséges. A magas költséggel előállított nitrogén rossz hasznosulása miatt nagyban hozzájárul a környezet terheléséhez. Ezért van szükség

olyan fajták előállítására, amelyek a tápanyagot magasabb hatásfokon hasznosítják, ezáltal csökkenthető a kijuttatott nitrogén mennyisége, így javul a termelés gazdaságossága, és csökken a környezet terhelése. (HOFFMANN et al., 2010.).

A nitrogénhasznosító képesség napjainkban egy dinamikusan kutatott terület. Külföldi adatokból tudjuk, hogy a burgonyafajták nitrogénhasznosító képességében igen nagy változatosság mutatkozik (SATTELMACHER et al., 1990., ZEBARTH et al., 2008.), a hazánkban termesztett fajtákkal és nemesítési anyagokkal azonban csak az utóbbi időben kezdődtek meg a vizsgálatok.

Kísérletünk célja, hogy a Burgonyakutatói Központban nemesített genotípusok nitrogénhasznosító képességéről adatokat kapjunk olyan módszerrel, amely gyorsan, olcsón, sok genotípuson elvégezhető.

2 Irodalmi áttekintés

2.1 A burgonya

2.1.1 Morfológiája, jelentősége

A *Solanum tuberosum* L. lágyszárú, 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 sztólo 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, ellenben 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, géncentrumai 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 géncentrumokban (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 dísznövényként 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.).

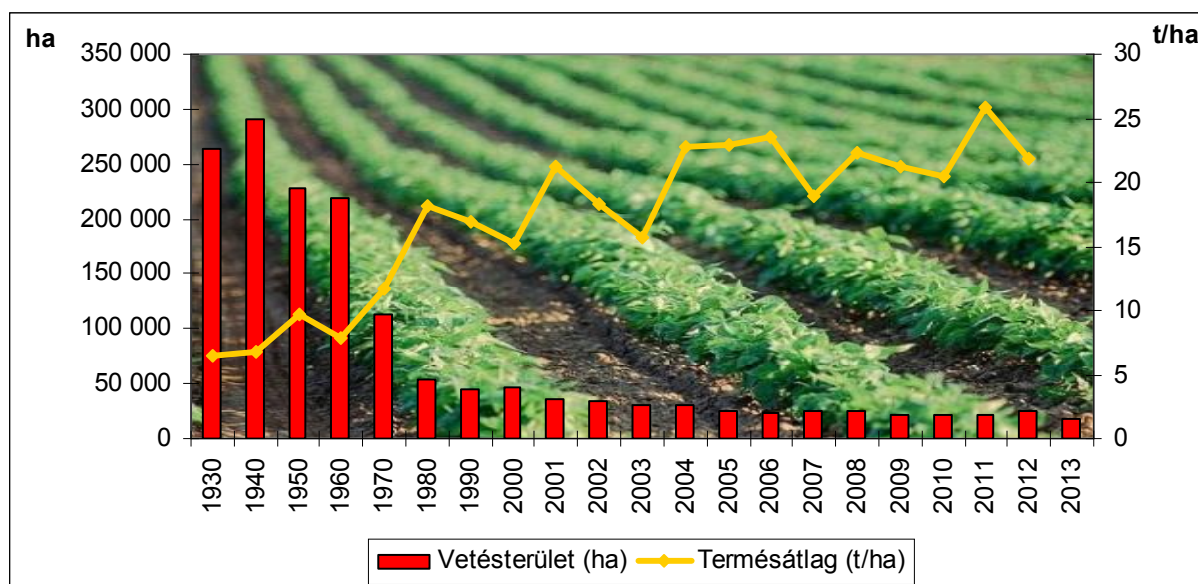
2.1.3 Termesztése a Világon és hazánkban

Napjainkban a Világon 368,4 millió tonnát takarítanak be, a termőterület 19,3 millió ha. A betakarított termésmennyiség tekintetében globális szinten az ötödik helyen áll, a cukornád (1773,8 millió t), a kukorica (875,1 millió t), a rizs (718,3 millió t), és a búza (674,9 millió t) után. A termés legnagyobb részét Kína (85,9 millió t) állítja elő, de jelentős még India (45 millió t), Oroszország (29,5 millió t), Ukrajna (23,3 millió t) és az USA (19,2 millió t). Az átlagtermés a Világon 19 t/ha, az éves burgonyafogyasztás pedig eléri a 218 millió tonnát. A legalacsonyabb termésátlagot a Közép-afrikai Köztársaság produkálja (1,2 t/ha), míg a legmagasabb termésátlaggal Új-Zéland rendelkezik (47,5 t/ha) (FAO, 2012.).

Hazánkban az egy főre jutó fogyasztás hosszútávon csökkenő tendenciát mutat. Míg az 1930-as években 130 kg/fő/év volt jellemző, addig napjainkra ez az érték 60-65 kg/fő/év-re redukálódott (BOCZ, 1992.). 2013-ban (63,5 kg/fő/év) 3 kilogrammal emelkedett a fogyasztás, így 2 kilogrammal magasabb lett az előző öt év átlagához képest, ugyanakkor 3 kilogrammal alacsonyabb 2005-höz képest (KSH, 2013.). 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, napjainkban már csak mintegy 21000 ha-t. A vetésterület fokozatos csökkenése mellett a termésátlagok folyamatosan növekedtek, a termelés hatékonyabb lett (BOCZ, 1992.).

A hazai burgonyatermesztésre vonatkozó adatokat az **1. ábra** mutatja. A termésmennyiséget jelentősen befolyásolta a termőterület módosulása. Ez utóbbi az elmúlt évtizedben rendkívül

változatosan alakult, 2012-ben 25100 ha, míg 2013-ban 17400 ha volt. A termésátlagot azonban a termőterület nagysága nem befolyásolja. Ez 2012-ben 21,8 t/ha volt (EUROSTAT 2013.). Ugyanakkor a különböző abiotikus tényezők jelentős korlátozó tényezői a termesztésnek.



1. ábra: A burgonya vetésterülete és termésátlaga Magyarországon (Forrás: BOCZ 1992., EUROSTAT 2013.)

2.2 A burgonya ökológiai igénye

2.2.1 Éghajlati igény

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°C hőmérsékleten elhal, 30 °C felett a lomzat nem fejlődik, a gumóképződés gátolt. Bár 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 °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 Talajigény

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.).

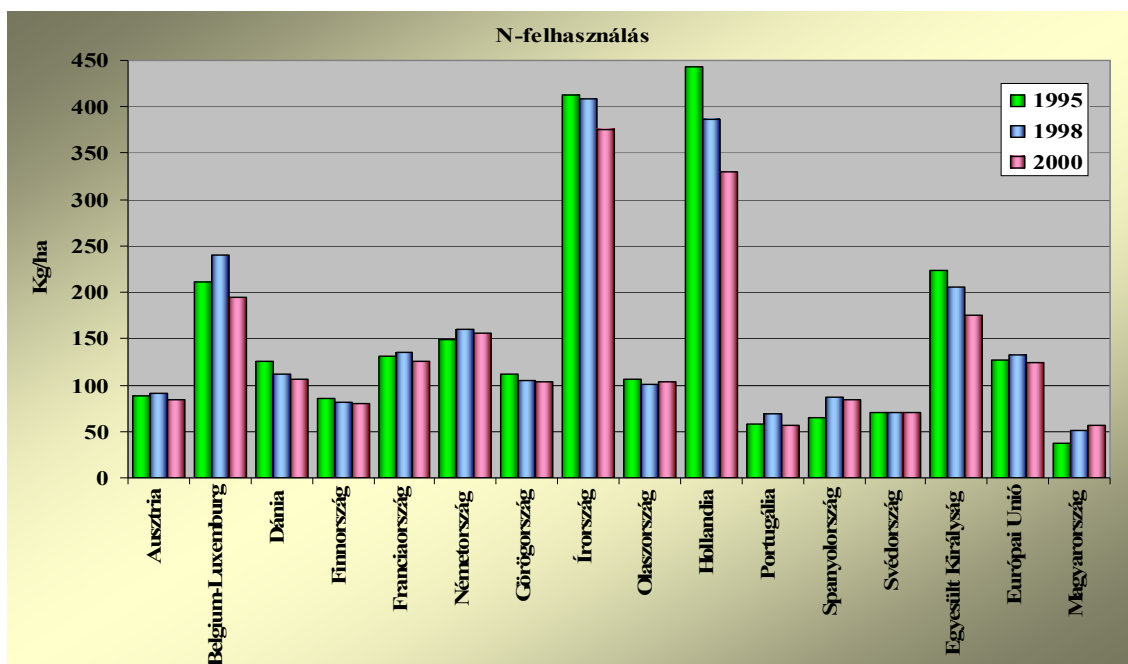
2.2.3 Nitrogén-ellátás

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 kialakulására (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 hasznosulása

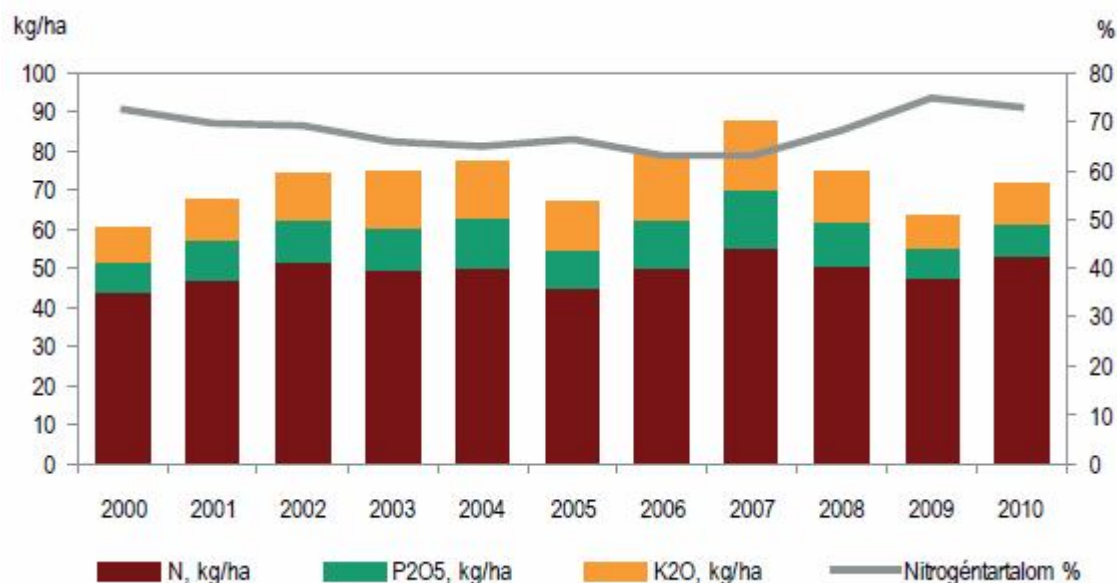
2.3.1 A nitrogén műtrágyák felhasználása

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 intenzív módon gazdálkodnak, a mezőgazdaságot „csúcsra járatják”, még európai viszonylatban is kiugróan magas a N-műtrágyák felhasználása. Ugyanakkor a legtöbb ilyen országban (Hollandia, Írország, Egyesült Királyság) csökkenő tendencia figyelhető meg a felhasználást illetően.



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

Magyarországon (3. ábra) az egy hektárra jutó műtrágya mennyisége európai szinten viszonylag alacsonynak mondható, ugyanakkor a nitrogéntartalmú műtrágyák használatának túlsúlya tapasztalható: 2010-ben a nitrogén aránya az összes hatóanyag-tartalomban 73% volt.

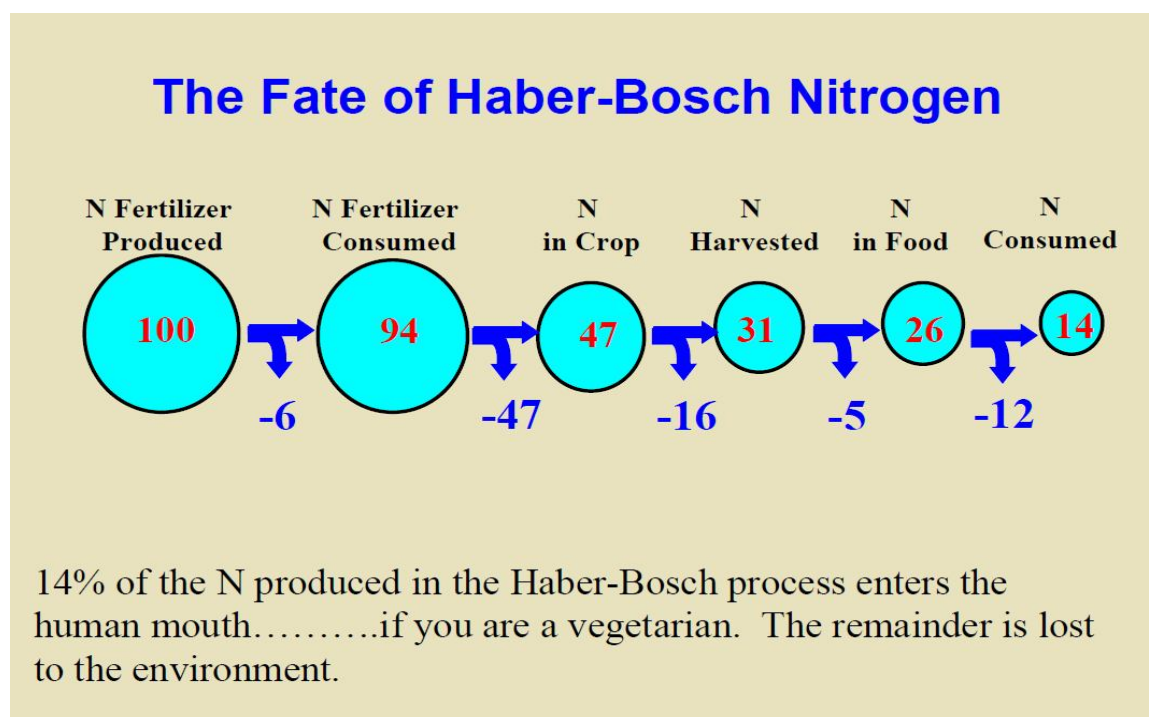


3. ábra: A mezőgazdasági területre jutó értékesített hatóanyag mennyiség és a kijuttatott nitrogén hatóanyag aránya (Forrás: Tudástár az élelmiszer-gazdaságról)

2.3.2 A nitrogén műtrágyák előállítása

Jelenleg a növénytermesztésben használatos nitrogén műtrágyákat a Haber-Bosch eljárással állítják elő. A szintézis 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 energiaigénye nagy, és ezért meglehetősen költséges, annak ellenére, hogy 97%-os hatékonysággal működik (viszonylag alacsony a nitrogén gáz alapú elillanása). A jövőben az energiaforrásaink szűkülése, az energiaárak növekedése, ebből kifolyólag pedig a nitrogén műtrágyák gyártási költségének további emelkedése várható (GALLOWAY, 2006.).

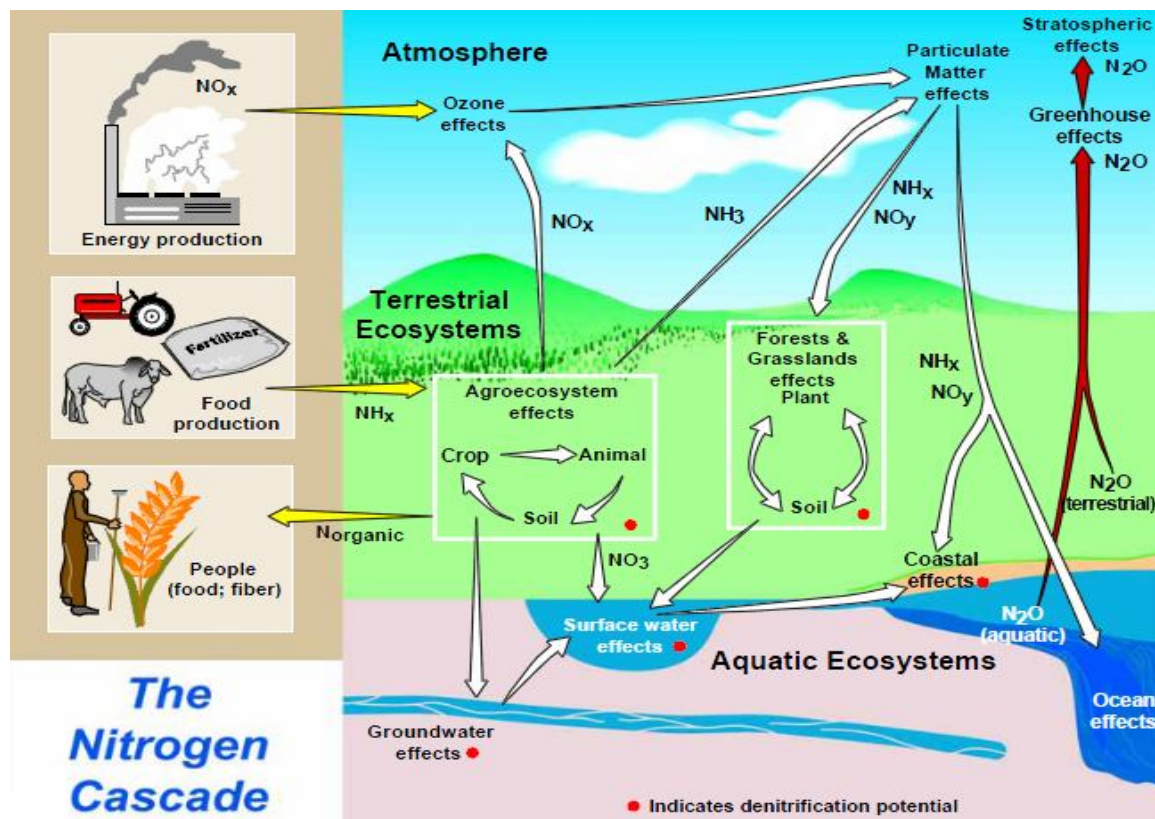
2.3.3 A nitrogén hasznosulása a növényben



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

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 átlagosan 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.

A N-műtrágya előállítás rendkívül energiaigényes, a befektetett energia jelentős hányadát fosszilis tüzelőanyagok felhasználásával fedezik. Ennek során jelentős mennyiségű üvegházhatásért felelős gáz (CO_2 , N_2O) kerül a légkörbe (GALLOWAY, 2006.). A N_2O a sztratoszférikus ózonréteg elvékonyodását idézi elő, nagyban hozzájárul az üvegházhatáshoz, míg az ammónium a savas ülepedésekért felelős (DONEY, 2010.). Kevésbé ismert, hogy a N_2O üvegház-hatása 296-szorosa a CO_2 üvegház-hatásának (O'BRIEN - MULLINS, 2008.).



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

(Forrás: GALLOWAY, 2006)

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 felszíni vizekben eutrofizációt indít el, az ivóvízbe kerülve pedig mérgezést is okozhat (NÉMETH, 2003.). A folyamat az **5. ábrán** követhető nyomon.

A növénytermesztésben felhasznált nitrogén műtrágya mennyisége 2011-ben 112 millió tonna volt világviszonylatban (FAO, 2013.). Ennek a nitrogén műtrágya mennyiségnek az előállításához a világ energia fogyasztásának 1.2%-át használtuk fel (KONGHAUG 1998.). 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 veszett, 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 hasznosulásának 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 növényfaj 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 nitrogénhasznosító képesség

A növény nitrogénhasznosító képességén azt értjük, hogy a rendelkezésre álló nitrogénből mennyit képes felvenni, valamint a felvett nitrogénből mennyi szerves anyagot képes előállítani. A nitrogénhasznosító 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 nitrogénhasznosító 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 nitrogénhasznosító képesség értékét (HOFFMANN et al., 2010.). A gyakorlatban azonban nehezen használható a NUpE, ugyanis eltérő körülmények között még azonos talajtípuson és egyező N hatóanyag kijuttatása mellett is más az összes felvehető N mennyisége. Ezt azzal magyarázhatjuk, hogy a hőmérsékleti és csapadékviszonyoktól függően a talajban változik a N-feltárodásának 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

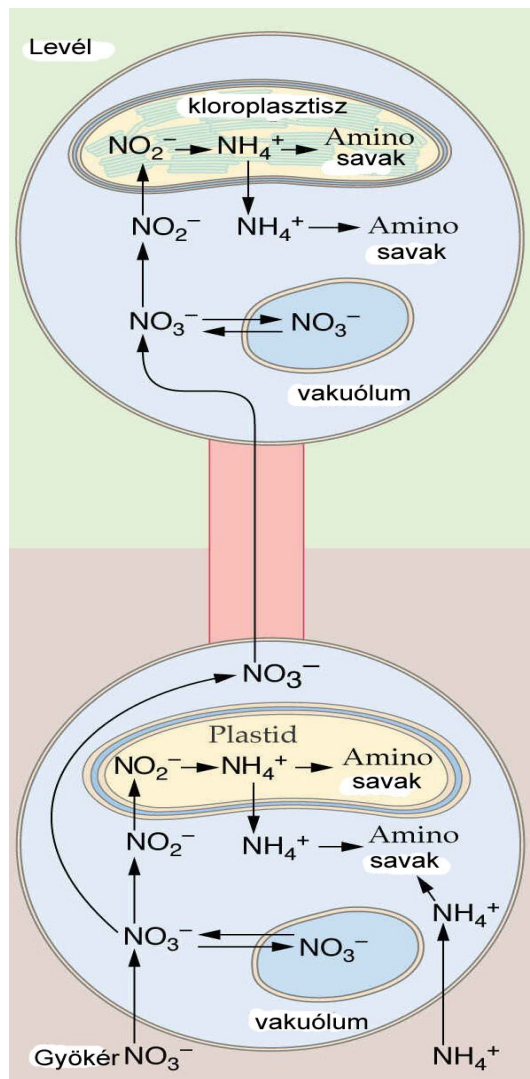
A növények nitrogén-igénye az egyedfejlődés során jelentősen változik. A vegetatív fázisban magas N-igény jellemző (elősegíti az asszimilációs felület gyors kialakítását, a gyökérsejtek osztódást), a reproductív fázisban azonban ez jelentősen csökken, mivel a vegetatív fázisban felhalmozott N-t remobilizálja 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.). A felismerés, miszerint a növények N-igénye időben változik, 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 oka az, 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 a légkörből 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 kívül fontos N-tartalék a növény számára (CHAILLOU, LAMAZE, 2001.).

2.5.2 A nitrát és az 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 NO_3^- a gyökérsejtet el is hagyhatja, az intercelluláris oldatba kerülhet, illetve a föld feletti növényi részekbe a xilem elemeken keresztül szállítható. A fenti mozgások folytán membránokon keresztül kell haladnia, ez energiaigényes folyamat.

A növény föld feletti szerveiben egyrészt a vakuólumban raktározódhat, így részt vehet a turgor kialakításában, másrészt NO_2^- -té, majd a kloroplasztisban NH_4^+ -vá redukálódva az aminosavakba épülhet.

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

A gyökérben a bejutott NH_4^+ egyből asszimilálódik, de a föld feletti részekbe is transzlokálódhat, ez azonban elhanyagolható mértékű. Az NH_4^+ a növényben kis mennyiségben a talajból, részben a NO_3^- redukciójából, de nagyobb részben fotorespirációból, 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 transport system) és a LATS (LATS: low-affinity transport 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 proteinek két géncsalád kódolja, előbbi 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 visszacsatolások 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 A nitrogén asszimilációjának szabályzása

Az ion-felvétel hatékonyságának növelése 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 NUpE fokozásában játszik jelentős szerepet. Az asszimiláció hatékonyságának növelésével a nitrogénhasznosító képesség fokozható.



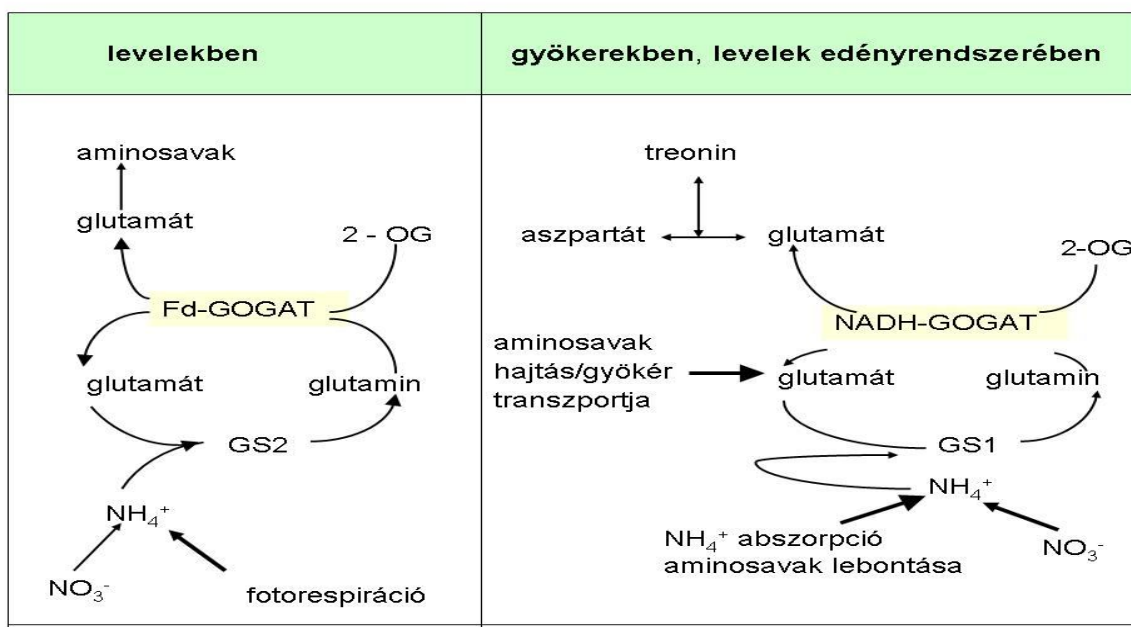
A **nitrát** redukcióját két enzim, a nitrát reduktáz (**NR**) és a nitrit reduktáz (**NiR**) katalizálja. A NR enzimet a *NR* gének kódolják, amelyeket két osztályba sorolunk: a *Nia* gének, illetve a *Cnx* (cofactor for *n*itrate reductase and *x*anthine dehydrogenase) gének (MEYER, STITT, 2001.). 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 szabályozott (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 az *in vitro* növények elemzése.

2.6 *In vitro* szaporítás

2.6.1 Az *In vitro* szaporítás történeti áttekintése

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. Szerinte, 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 tenyészetük már több szubkulturáláson átesett, és tovább fejlődött, azonban nem differenciálódtak növényi szervek. Az első sikeres hajtástenyészetéről 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 hajtástenyészet később növény szaporítási formává alakult (MARÓTI, 2005.).

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

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

2.6.2 A sterilitás jelentősége

A szövettenyésztésben használt táptalaj nemcsak a növényi szöveteknek, hanem a baktériumoknak és gombáknak is kiváló táplálékot jelent. 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 tenyészedény, valamint a táptalaj sterilitása is. Minden eszközt, valamint a tenyészedényt 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, annál kevésbé képes rá. A vitaminok adagolása tehát a tenyészetek életben maradásához, és növekedésük serkentéséhez szükséges. 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 szerepe 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 kallusztenyészeteket 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 adagolt 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 benziladenint (BA) alkalmaznak. Az auxinok és citokininek együttes hatása indítja meg a kallusztenyésztésben a morfogenezist. Hatásuk koncentrációfüggő, emellett a hormonok koncentrációjának egymáshoz viszonyított arányától is 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 alkalmazása 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, tömegszaporításra a minősége megfelelő, és viszonylag olcsó. Szilárd halmazállapotú, ezért a kívánt 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 megköti. Azonban nem csak a káros anyagokat adszorbeálja, a hormonok is gyorsan kötődnek hozzá. Így a hormonok koncentrációját az aktív szén 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 abiotikus 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 fejlődéshez, a hosszúnappalosoknak pedig a rövidnappalos megvilágítás. A fény hullámhossza az asszimiláció és az organogenezis szempontjából fontos tényező, 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 fény mennyiséget 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 számára 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 az *in vitro* szaporítás 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 áttoltják. A

módszer hajtástenyésztés, a szaporítás a levélhónaljban differenciálódott rügyeken alapul. Előnye, hogy nincsen de-, illetve redifferenciálódás, ezért kicsi az esélye a genetikai változásoknak (HESZKY, 2000.).

Az egynóduszos hajtásdarabokat alap MS táptalajon nevelik, 16 órás fotoperiódus, 6-8000 lx fényerősség és 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 végeztük, *in vitro*, kétkezeléses (két N-ellátási szint) kísérletben. Azért ezt a módszert választottuk, mert viszonylag olcsó, egyszerre sok genotípuson elvégezhető és gyorsabban kapunk eredményt, mint a szabadföldi kísérletek esetén. Kontrollként alap Murashige-Skoog táptalajt használtunk, amelyet a Burgonyakutatói Központban a tömegszaporításban alkalmaznak. Az alkalmazott nitrogénkezelés fél nitrogén adagos Murashige-Skoog táptalajon történt. A kísérletben tíz genotípust vizsgáltunk, a kezeléseket öt ismétlésben végeztük mindkét nitrogén szinten. A mérések két időpontban történtek, két, illetve három hétig nevelt növényeken. Egy kísérlet alkalmával így összesen kétszáz növényegyed adatait felvételeztük.–A kísérletet háromszor végeztük el, az elsőt 2011. őszén (október vége), a másodikat 2012. nyarán (június eleje), a harmadikat 2013. nyarán (június eleje). A kísérlet harmadszori ismétlésére azért volt szükség, mert az első és második kísérlet nem hozott konzekvens eredményt. Úgy gondoltuk, hogy az időben eltérő indítás okozhat eltérést, ugyanis esetenként *in vitro* kultúrákban is tapasztalható az évszakok módosító hatása. Így a kísérlet harmadik ismétlése a másodikkal azonos hónapban történt. A vizsgálatok során egy holland (Desiree), és öt keszthelyi (Balatoni Rózsa, Hópehely, Katica, Lorett, White Lady) fajtát vizsgáltunk, valamint négy, a Burgonyakutatói Központban létrehozott nemesítési vonalat (00.35, Chipke, 01.536, 00.454). Mértük a gyökerek hosszát és 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 nitrogénhasznosító képességről.

3.1.1 A kísérletben szereplő genotípusok jellemzői

Balatoni Rózsa: Korai érésű, gumója nagy, ovális alakú, sötét rózsza héjú és rügyű, sárga húsu. Rügyei sekélyen ülnek. "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. Lombfitofórával 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. "B" főzési típusú, nem szétfővő, finom szerkezetű, kiváló ízű étkezési burgonya. Magas fokon rezisztens a burgonya Y, X, A vírusokkal szemben. A levélsodródás vírussal szemben jó szántóföldi rezisztenciával rendelkezik. Lombfitofórával 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 rózsza héjú, közepes méretű, sekélyen ülő rügyekkel. "B" főzési típusú, nem lisztes, finom hús szerkezetű, általános célú, kiváló ízű étkezési burgonya. Magas fokon rezisztens a burgonya Y, X, A vírusokkal szemben. A levélsodródás vírussal szemben magas szántóföldi rezisztenciával rendelkezik. Lombfitofórával szemben közepesen fogékony. A burgonyarák 1-es patotípusával, gumóvarasodással, valamint a burgonya fonálféreg Ro1 és Ro4 rasszával szemben rezisztens. A Rioja x Turbo keresztezéséből származik, állami minősítést 2007-ben kapott.

Lorett: Középkorai érésű, gumója hosszú-ovál alakú, nagyméretű, világos rózsza héjú, világossárga húsu, sekélyen ülő lila szemekkel. "B" főzési típusú, nem szétfővő, általános célú étkezési burgonya. Magas fokon rezisztens a burgonya Y, X, A vírusokkal szemben. A levélsodródás vírussal szemben jó szántóföldi rezisztenciával rendelkezik. Lombfitofórával szemben közepesen ellenálló, gumóvarasodásra kissé fogékony. Származás: 79.60 x Chieftain, állami minősítés éve 2002.

White Lady: Középkorai érésű, gumója kerek-ovál alakú, középnagy, világossárga héjú és húsu, sekélyen ülő rügyekkel. "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, lombfitofórával 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. "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 CaCl₂, és 0,2 ml GA₃

törzsoldatot, majd 0,5 ml PPM oldatot, amely a fertőzések megakadályozásához szükséges. 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 hűtöttük folyamatos keverés közben, 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 ₄ NO ₃	16,5 g/l
	KNO ₃	19 g/l
	MgSO ₄ ·7H ₂ O	3,7 g/l
	KH ₂ PO ₄	1,7 g/l
Mikroelem törzsoldat (1 ml)	H ₃ BO ₃	0,62 g/100ml
	MnSO ₄ ·4H ₂ O	2,23 g/100ml
	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0,86 g/100ml
	Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	25 mg/100ml
	CuSO ₄ ·5H ₂ O	2,5 mg/100ml
	CoCl ₂ ·6H ₂ 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)	FeSO ₄ ·7H ₂ O	2780 mg/100ml
	Na ₂ EDTA	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 nitrogénkezelés fél nitrogén adagos MS táptalajon történt. Ezt az NH₄NO₃ és a KNO₃ koncentrációjának a felére csökkentésével indukáltuk. 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



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)

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

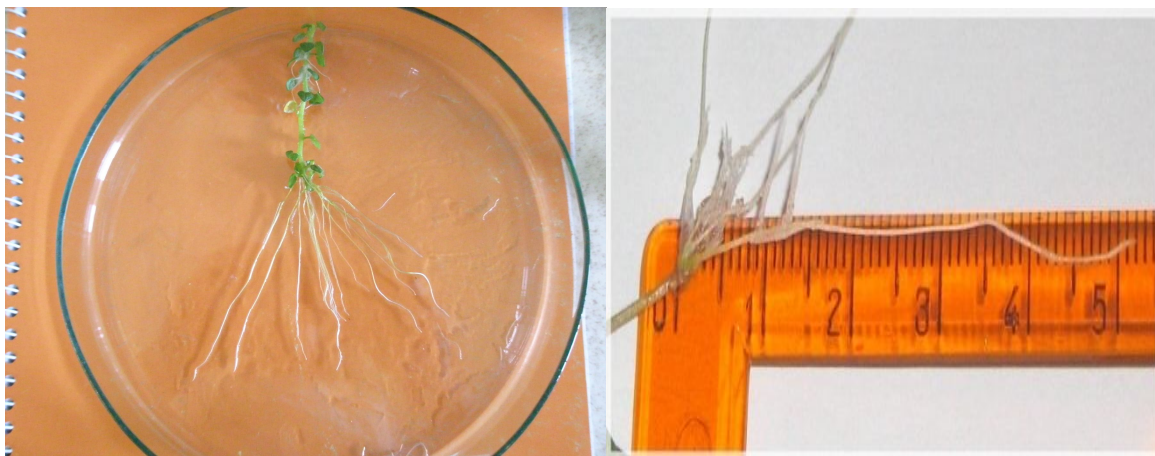
végeztük. A munkaasztalt minden használat előtt alkohollal fertőtlenítettük, valamint UV fénnyel sterilizáltuk. Ezt a beépített UV cső germicid hatása tette lehetővé.

Egy tenyészetből összesen 20 hajtáscsúcsot vágunk olló segítségével, ezután csipesszel a táptalajt tartalmazó kémcsőbe, a táptalajra helyeztük azt. Egy genotípusból 10 hajtáscsúcsot az alap, 10 hajtáscsúcsot a fél nitrogén adagos MS táptalajt tartalmazó kémcsővekbe helyeztünk, minden kémcsőbe 1-1 hajtáscsúcsot. Ezután a kémcsőveket kupakkal és fóliával zártuk le. Munka közben az eszközöket elektromos fűtésű eszközfertőtlenítővel sterilizáltuk, minden egyes hajtáscsúcs levágása illetve táptalajra helyezése után. A folyamat a **8. ábrán** követhető nyomon. A tenyészet nevelése állandó hőmérsékleten (22 °C), 16 órás fotoperiódus mellett történt. A fény hullámhossza 460-660 nm, erőssége 2500 lux volt. A tenyészeteket két, illetve három hétig neveltük e körülmények között, a vizsgálatok ennek megfelelően két, illetve három hetes növényanyagon történtek.

3.1.4 A növényanyag vizsgálata

A kísérletek során két felvételezést végeztünk: két hetes, illetve három hetes növényanyagon. Egy felvételezés alkalmával összesen 100 egyed adatait mértük, minden genotípusból 5-5 egyedet mindkét nitrogén szinten, tehát ötismétléses kísérletet végeztünk.

A felvételezéskor a növényeket a táptalajból kihúztuk, a gyökereikről a rátapadt táptalaj lemostuk. Kiterítettük egy üveglapra, és kiegyenesítettük a hajtást, illetve a gyökereket, ezután megkezdtuk a mérést. A gyökerek hosszát egyesével mértük le vonalzóval, mm-ben (**9. ábra**). A hajtáshossz meghatározása szintén vonalzóval történt.



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

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

3.1.5 Az adatok elemzése

A gyökerek hosszát, darabszámát, száraz tömegét, valamint a hajtás hosszát és száraz tömegét Excel táblázatban rögzítettük. Növényenkénti összes gyökérhosszt, átlagos gyökérhosszt, összes szárazanyag tartalmat számoltunk. A felvevő felületről az összes gyökérhossz adja a legpontosabb információt. Az átlagos gyökérhossz önmagában nem mutat megfelelő képet a növény fejlődéséről, csupán a felszívási zóna átlagos mélységét mutatja. Az összes gyökérhossz a növényegyed egyes gyökér hosszainak összege mm-ben. Ezen kívül a hajtáshossz és az összes szárazanyag tartalom adatok kerültek elemzésre.

Az adatok rendszerezése után a statisztikai elemzést az IBM SPSS Statistics 20 statisztikai programmal végeztük UNIANOVA és DUNCAN post hoc teszt segítségével. A kezelések és kísérletek ismétlése közti szignifikáns különbségről táblázatokat készítettünk, valamint a hosszadatokat box plot diagramokon ábrázoltuk. Korreláció analízist is végeztünk, melyben összehasonlíthattuk a hossz, a tömeg, valamint a szántóföldi eredményeket.

3.2 Eredmények és értékelésük

3.2.1 Gyökérhossz

A vizsgált genotípusok nitrogénkezelésre adott reakcióját a gyökér-, illetve hajtáshossz adatokat elemezve értékelhetjük. A DUNCAN teszt (**2. táblázat**) eltérő betűvel jelzi a kezelések közti szignifikáns különbségeket, adott mintavételi időpontban, $P < 0,05$ szinten.

A sorok a genotípusokat és N-kezeléseket, míg az oszlopok a megismételt kísérleteket, valamint a felvételezések időpontját mutatják. A táblázatban szereplő számadatok a gyökérhosszadatok főátlagai. Az esetek döntő többségében, ahol szignifikáns különbség tapasztalható, ott a nagyobb értéket az egész adagú N-es táptalajon nevelt egyedek vették fel. Csak néhány esetben tapasztaltuk azt, hogy szignifikáns különbség esetén a N-hiányos egyedek gyökérhossza volt nagyobb: 1. kísérlet 2. hét 00.454; 1. kísérlet 3. hét Katica és 00.35; 2. kísérlet 2. hét 01.536.

2. táblázat: A nitrogénkezelés hatása a gyökérhossz alakulására, genotípusonként

Genotípus és N- kezelés	Gyökérhossz értékek főátlaga					
	1. kísérlet		2. kísérlet		3. kísérlet	
	2. hét	3. hét	2. hét	3. hét	2. hét	3. hét
BR 0,5 BR 1	248,3 cdefgh 249,3 cdefgh	256,3 abcd 340,8 cdef	318,8 ab 246,5 a	364,5 a 458,5 ab	214,8 bcde 227 cdef	322,3 cde 329,3 cde
Chipke 0,5 Chipke 1	109,3 ab * 357,3 hi *	230,8 abc * 527 h *	369,5 abc * 577,5 efg *	696 bcd 756,8 cde	325,8 gh 322,8 gh	242,3 cd 379,3 def
Desiré 0,5 Desiré 1	57,2 a 150 abc	229,3 abc 337,5 cdef	507,3 bcdefg 566,3 defg	696 bcd 870,8 def	245,8 cdefg 287,3 efg	278,5 cd * 462,3 ef *
Hópehely0,5 Hópehely 1	194 bcde 252,5 cdefgh	264,3 abcde * 461,8 gh *	351,3 abc * 694 g *	841,5 def 1081,8 fg	386,3 h 371 h	359 de 443,8 ef
Katica 0,5 Katica 1	218,8 bcdefg 122,3 ab	377 efg * 182,3 ab *	461,5 bcde 473 bcdef	447,3 ab 364,8 a	166 bc 187,3 bcd	195,5 bc 247,3 cd
Lorett 0,5 Lorett 1	217,5 bcdefg 203,8 bcdef	293 bcde 345,5 cdef	257,3 a 421,5 abcde	442,5 ab * 848,8 def *	258,8 defg * 393,3 h *	256,8 cd 294,8 cd
O1.536 0,5 O1.536 1	164,5 abcd 176 abcd	191 ab 162,3 a	652 fg * 381,8 abcd *	1026,8 efg 973,3 defg	240,5 cdefg 240 cdefg	188,3 bc 319,8 cde
O454 0,5 O454 1	406,5 i * 276,8 defgh *	434,8 fgh 366 defg	349,3 abc 525 cdefg	372,3 a * 743,8 cde *	77,3 a 138,3 ab	52,3 a 73,5 ab
OO35 0,5 OO35 1	326,8 fghi 310,3 efgi	514,5 h * 331,5 cdef *	418,3 abcde 430,5 abcde	685 bcd 924,5 defg	241 cdefg 311,3 fgh	247 cd 270,8 cd
WL 0,5 WL 1	316,8 efgi 333,5 ghi	472,5 gh 506,8 h	365,5 abc 334,8 abc	544,5 abc * 1181,3 g *	388,8 h 394 h	249 cd * 510,5 f *

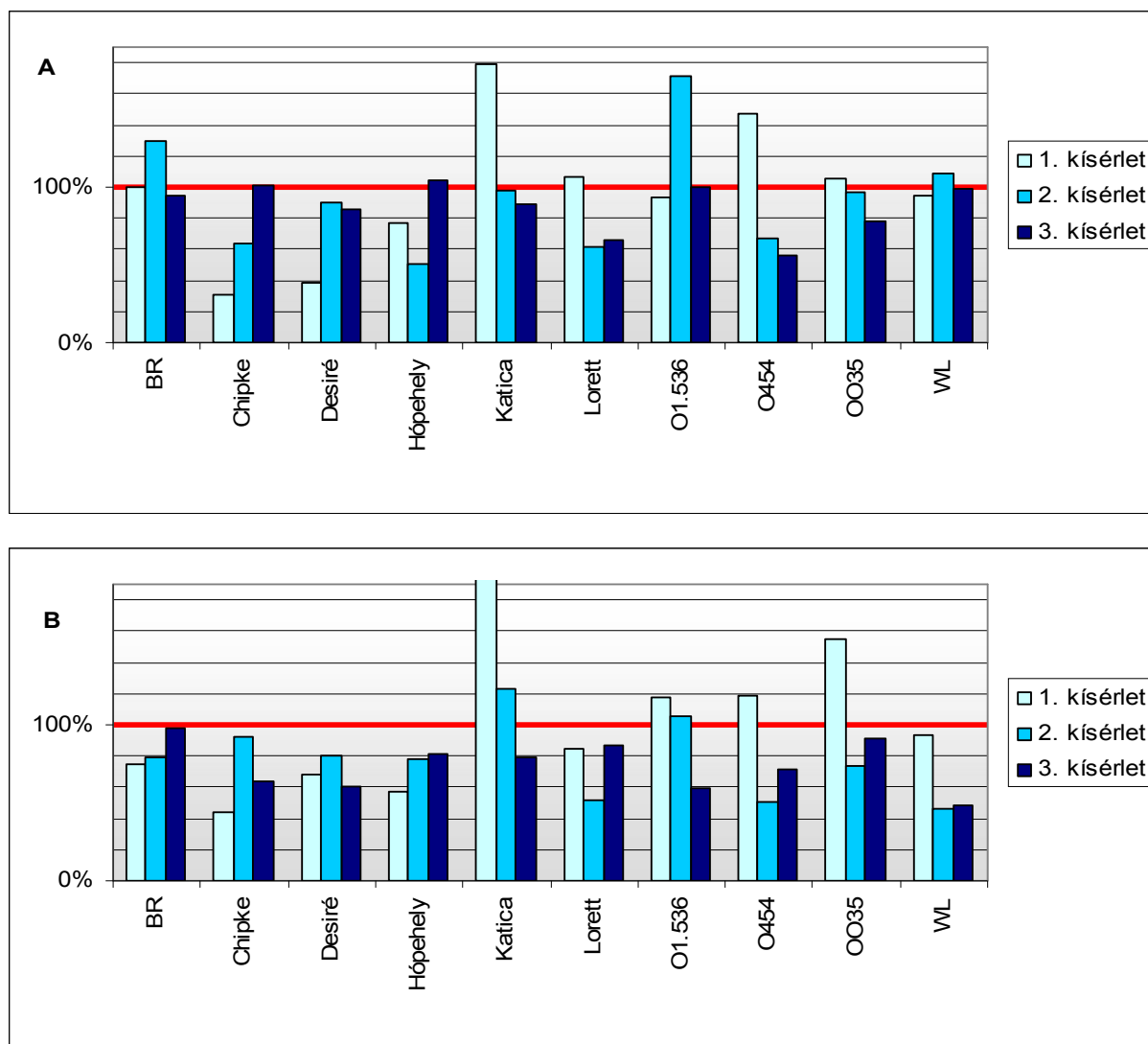
A csillaggal jelölt értékek a szignifikáns különbséget jelzik a kezelés hatására. Kék betűszín mutatja, ha a N-hiányos egyedek gyökérhossza nagyobb a kontrollhoz képest.

A nitrogén hasznosítás szempontjából azok a genotípusok a kedvezőek, reményt keltőek, amelyek a féladagú N-kezelésben közel azonos, vagy nagyobb méretű gyökeret fejlesztettek, mint egész adagú N hatására. Ezek a genotípusok nagyobb felvevő felülettel rendelkeznek, tehát valószínűleg nagyobb hatékonysággal veszik fel a nitrogént a tápközegből. Kísérletünkben a Balatoni Rózsa, Katica, 01.536 és a 00.35 genotípusok esetében találtunk kedvező adatokat.

A gyökérhossz N-kezelésre adott abszolút értéke mellett az adatokat relatív értelemben is fontos elemeznünk. A **10. ábrán** a genotípusok eredményeit % -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 felső ábra a 2. hetes, az alsó a 3. hetes mérési időpontok eredményeit tartalmazza.

A **Balatoni Rózsa** féladagú N hatására közel azonos méretű gyökeret fejlesztett, mint teljes adagú N hatására. A Desiré alacsonyabb N ellátásra kisebb gyökérhosszal reagált. A Chipke és a Hópehely a Desiréhez hasonlóan viselkedett, mindkét genotípusnál csak a 3. kísérlet alkalmával, 2. hetes mérési időpontban tapasztaltunk a kontrollt meghaladó gyökérhossz

növekedést. A Chipke a 2. kísérlet 3. hetes mérési időpontjában a kontrollal közel azonos méretű gyökeret növesztett az alacsonyabb N ellátás hatására.



10. ábra: Összes gyökérhossz a féladagú N-kezelésben mért eredmény az egész adagú N-kezelés eredményének százalékában kifejezve, a második (A), illetve harmadik (B) hetes növényeken

A Loret és a 00.454 féladagú N hatására a gyökérhossz csökkenésével reagált, mindkét genotípusnál az 1. kísérlet 2. hetes, illetve a 00.454 esetében az 1. kísérlet 3. hetes felvételezés alkalmával tapasztaltunk csak növekedést. A White Lady a 2. hetes mérési időpontban, mindhárom kísérletben a kontrollal közel azonos hosszúságú gyökeret fejlesztett, viszont a 3. hetes mérési időpontban ezt nem tapasztaltuk egyik kísérlet alkalmával sem. Pozitív eredményt mutat a **Katica**, a **01.536**, illetve a **00.35**. A Katica esetében az 1. kísérletben kiugróan magas értékeket mértünk féladagú N hatására. A 3. kísérlet alkalmával és a 2.

kísérlet 2. hetes felvételezéskor közel azonos, a 2. kísérlet 3. hetes mérési időpontban pedig nagyobb gyökérhosszt mértünk a kontrollhoz képest. A 01.536 a 2. kísérlet alkalmával, valamint az 1. kísérlet 3. hetes, illetve a 3. kísérlet 2. hetes mérési időpontjában nagyobb, az 1. kísérlet 2. hetes felvételezéskor pedig közel azonos gyökérhossz növekedéssel reagált féladagú N hatására. A 00.35 genotípus az 1. kísérletben nagyobb, a 2. és 3. kísérletek alkalmával pedig közel azonos méretű gyökeret fejlesztett féladagú N hatására.

3.2.2 Hajtáshossz

A gyökérhossz mellett a hajtáshossz adatok elemzésével is értékelhetjük a vizsgált genotípusok nitrogénkezelésre adott reakcióját. A **3. táblázat** értelmezése ugyanúgy történik, mint a **2. táblázaté**. Ahol a kezelések között szignifikáns különbség tapasztalható, ott rendszerint a nagyobb értéket az egész adagú N-es táptalajon nevelt egyedek vették fel, hasonlóképp a gyökérhossz adatokhoz.

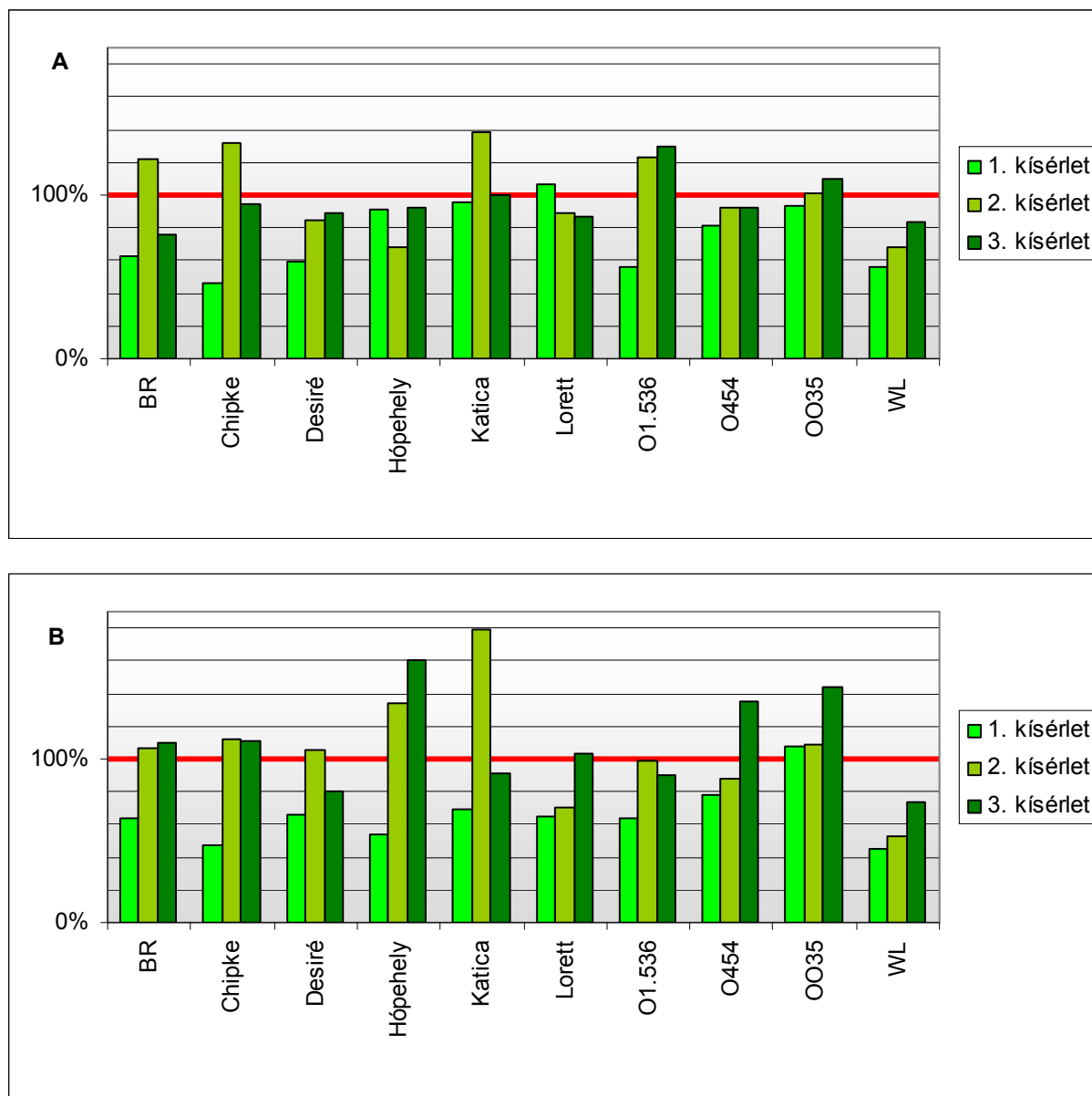
3. táblázat: A nitrogénkezelés hatása a hajtáshossz alakulására, genotípusonként

Genotípus és N-kezelés	Hajtáshossz értékek főátlagai					
	1. kísérlet		2. kísérlet		3. kísérlet	
	2. hét	3. hét	2. hét	3. hét	2. hét	3. hét
BR 0,5 BR 1	51,3 cd *	73,5 abcde	79,3 bcd	115,8 cde	57,8 abcde	97,5 defg
	82,5 ef *	115,8 defg	64,8 abc	108,8 bcde	76,3 def	89 bcde
Chipke 0,5 Chipke 1	41,3 bc *	57,8 abc *	91,3 cde	174,8 fg	73,5 cdef	124,3 gh
	89,3 ef *	122,8 efg *	69,3 abc	155,8 efg	77,5 def	112,5 efgh
Desiré 0,5 Desiré 1	16 a	30,5 a	65 abc	62,8ab	40 ab	53,5 a
	26,8 ab	46 ab	77,3 bcd	59,3 a	45 abc	66,8 abc
Hópehely0,5 Hópehely 1	50 cd	54,5 abc	69,3 abc *	128,8 defg	58,5 abcde	94,8 cdef *
	55 cd	102 cdefg	101,8 de *	95,8 abcd	63,8 abcde	59,3 a *
Katica 0,5 Katica 1	43 bc	53,3 abc	80 bcd	135,3 defg *	51,8 abcd	63,5 ab
	45,3 bc	76,5 abcde	57,8 ab	75,8 abc *	51,5 abcd	69,8 abcd
Lorett 0,5 Lorett 1	58,8 cd	82,8 bcdef	102,3 de	95,8 abcd	68,3 bcdef	107,5 efgh
	55,3 cd	128 fg	114,3 e	136,3 defg	79 def	104 efg
O1.536 0,5 O1.536 1	52 cd *	94,3 bcdef *	140,5 f *	170,8 fg	83,8 ef	108,3 efgh
	92,5 f *	148,5 g *	114 e *	172 fg	64,8 abcde	120,3 fgh
O454 0,5 O454 1	41 bc	51,5 abc	60 ab	101 abcd	38,5 a	60,3 a
	50,5 cd	66,5 abcd	65 abc	114,3 cde	41,8 ab	44,8 a
OO35 0,5 OO35 1	56,8 cd	97,3 bcdef	78,8 bcd	136,8 defg	93,8 f	134,3 h *
	60,5 cd	90,5 bcdef	78 bcd	125,8 def	85 ef	93,5 cdef *
WL 0,5 WL 1	40 bc *	51,8 abc *	47,5 a	93,3 abcd *	68 bcdef	88,8 bcde *
	71,8 de *	115,8 defg *	69,3 abc	175,8 g *	81,8 ef	121,5 fgh *

A csillaggal jelölt értékek a szignifikáns különbséget jelzik a kezelés hatására. Kék betűszín mutatja, ha a N-hiányos egyedek hajtáshossza nagyobb a kontrollhoz képest.

Néhány esetben azonban féladagú N hatására szignifikánsan nagyobb volt a hossznövekedés: 2. kísérlet 2. hét 01.536; 2. kísérlet 3. hét Katica; 3. kísérlet 3. hét Hópehely és 00.35. A

hajtáshossz tekintetében a nitrogén hasznosítás szempontjából szintén azok a genotípusok a kedvezőek, amelyek a féladagú N-kezelésben közel azonos, vagy nagyobb méretű hajtást fejlesztettek, mint egész adagú N hatására. Hajtáshossz tekintetében a Balatoni Rózsa, Chipke, Desiree, Katica, 01.536, 00.454 és 00.35 genotípusok esetében találtunk kedvező adatokat. Ezek a genotípusok feltehetően jobban hasznosítják a nitrogént, mint a hajtás növekedésének csökkentésével reagáló genotípusok. A hajtáshossz adatokat relatív értelemben is fontos elemeznünk.



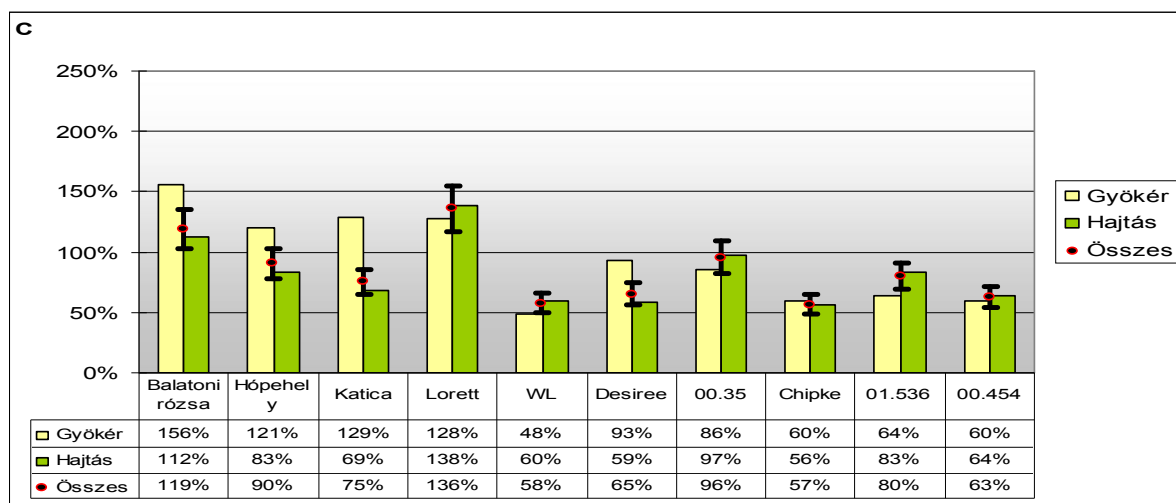
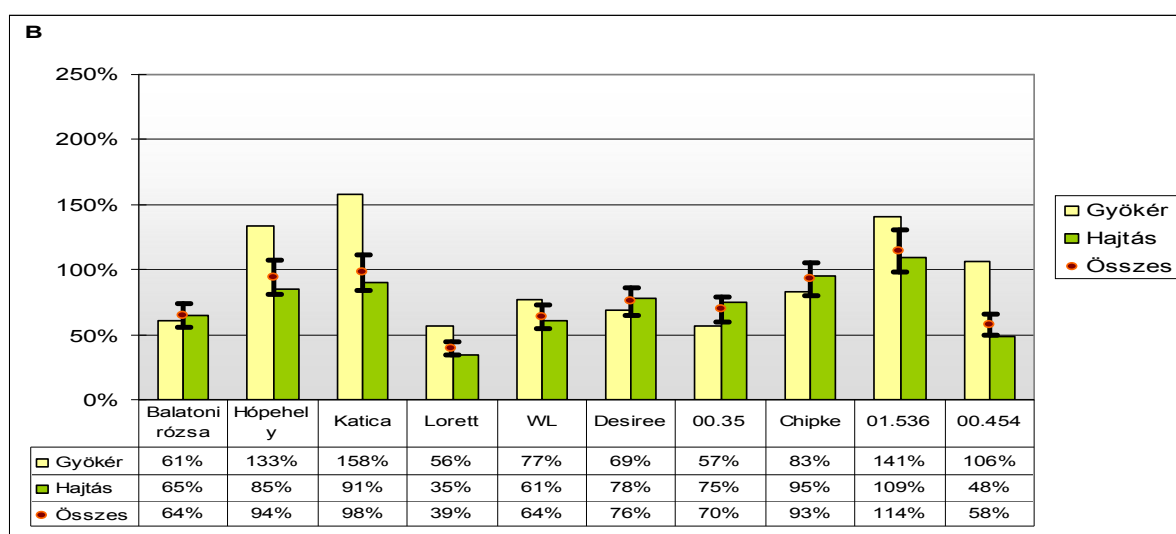
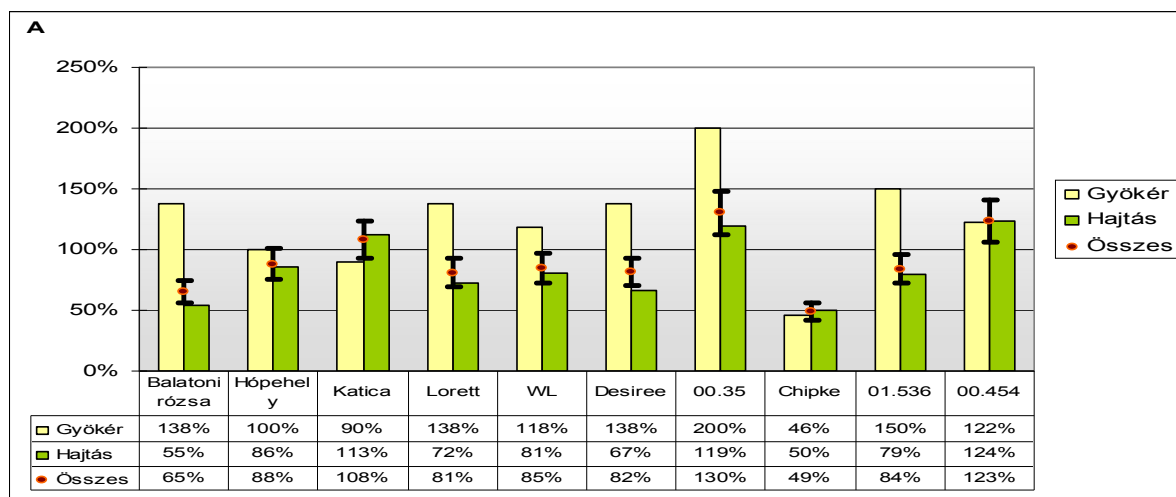
11. ábra: Hajtáshossz a féladagú N-kezelésben mért eredmény az egész adagú N-kezelés eredményének százalékában kifejezve, a második (A), illetve harmadik (B) hetes növényeken

A **11. ábra** értelmezése a **10. ábrával** megegyezik. A kapott eredmények nagy változatosságot mutatnak. A White Lady esetében féladagú N hatására a hajtáshossz minden esetben csökkent. A **00.35** genotípusnál minden mérés alkalmával azt tapasztaltuk, hogy a kevesebb N adag hosszabb, vagy azonos hosszúságú (1. kísérlet 2. hét) hajtást eredményezett. A **00.454** a 3. kísérlet 3. hetes felvételezéskor hosszabb, a többi mérés alkalmával közel azonos hosszúságú hajtást fejlesztett a kontrollhoz viszonyítva. A **01.536** esetében az 1. kísérlet alkalmával a hajtáshossz szignifikáns csökkenése tapasztalható féladagú N hatására. A 2. és 3. kísérletben azonban a 3. héten közel azonos, a 2. héten pedig hosszabb hajtáshosszt mértünk félmenyiségű N hatására. A Lorett az 1. kísérlet 2. hetes, illetve a 3. kísérlet 3. hetes mérési időpontban a hajtáshossz növekedésével, a többi mérés alkalmával a csökkenésével reagált a féladagú N-re. A **Katica** esetében a 2. kísérletben nagyobb, míg az 1. és 3. kísérletben közel azonos hajtáshosszt mértünk a kontrollhoz képest. A **Chipke** és **Desiré** az 1. kísérlet eredményeit leszámítva közel azonos hajtáshosszt produkált féladagú N hatására is. A többi genotípus nem hozott konzekvens eredményt.

3.2.3 Biomassza produkció

A biomassza produkciót a növények száraz tömege adja. A kapott eredményeket a **12. ábra** szemlélteti. Csak a 3. hetes mérési eredményeket tüntettük fel. Hasonlóan az előző ábrákhoz, a biomassza produkció esetében is a fél N-kezelés adatait az egész N %-ában adtuk meg. Egy ábrán megtekinthető a hajtás és a gyökér biomassza produkció, a pontok az összes szárazanyag produkciót mutatják. A mérésekkor azt tapasztaltuk, hogy a hajtás tömege tízes nagyságrenddel nagyobb volt a gyökér tömegénél, így az összes biomassza produkcióban a hajtás tömege a meghatározó. A szárazanyag értékek a hosszértékekkel nem minden esetben mutatnak hasonlóságot, de ez nem meglepő, hiszen azonos hosszértékhez eltérő tömörség tartozhat. A nitrogén hasznosítás szempontjából azok a genotípusok a kedvezőek, amelyek esetében az egész adagú N-hez képest közel azonos, vagy nagyobb mértékű a biomassza produkció a féladagú N hatására.

A Balatoni Rózsa esetében a 3. kísérlet alkalmával tapasztaltunk csak pozitív eredményt, a többi kísérlet alkalmával, az 1. kísérlet gyökér biomasszáját leszámítva, nem érte el a kontroll száraz tömegét. A **Hópehely** és **Katica** esetében konzekvens eredményt kaptunk mindhárom kísérlet alkalmával, közel azonos tömegű biomasszáat mértünk féladagú N hatására.



A gyökér, hajtás és összes szárazanyag produkció relatív értelmében szemlélítve, az adattáblán ezek értékei.

12. ábra: Biomassza produkció a féladagú N-kezelésben mért eredmény az egész adagú N-kezelés eredményének százalékában kifejezve (A=1. kísérlet, B=2. kísérlet, C=3. kísérlet), harmadik hetes növényeken

A White Lady, Desiré és 00.454 genotípusok esetében féladagú N hatására kisebb szárazanyag tömeget mértünk, az 1. kísérlet alkalmával azonban pozitív eredményeket kaptunk, a 00.454 esetében ez kiugróan magas volt. A **00.35** a féladagú N-re az 1. kísérletben magasabb, a 3. kísérletben közel azonos mértékű biomassza tömeggel reagált, a 2. kísérletben azonban alacsonyabb száraz tömeget mértünk. A **01.536** a 2. kísérletben nagyobb, míg a 3. kísérletben közel azonos mennyiségű száraz tömeget produkált a kontrollhoz viszonyítva. Az 1. kísérletben gyökér tekintetében pozitív eredményt kaptunk, míg hajtás tekintetében féladagú N hatására közel azonos mértékű volt a szárazanyag produktum, mint egész adagú N esetén. A Chipke feleakkora száraz tömeget produkált a N hiány hatására, a 2. kísérletben tapasztalható csak közel azonos tömeg a kontrollhoz képest.

3.2.4 Korreláció analízis

Az *in vitro* mérési adatokat egymással, illetve a szántóföldi adatokkal korreláció analízissel hasonlítottuk össze. Az így kapott eredmények azt mutatják, hogy a vizsgált adathalmazok között van-e, illetve milyen erős a lineáris kapcsolat (**4. táblázat**). Szántóföldi kísérletre 2009-ben került sor, ehhez hasonlítottam mindhárom kísérletem eredményeit. Összehasonlíthatók a különböző mért paraméterek egymással a kísérleten belül, illetve a szántóföldi adatokkal (ezek a táblázatban SZ betűvel jelölt paraméterek).

A legszorosabb kapcsolat a gyökértömeg-gyökérhossz között tapasztalható. A hajtástömeg-gyökértömeg között a 3. kísérletben szoros, a 2.-ban közepes, míg az 1.-ben laza kapcsolatot találtunk. A hajtástömeg-gyökérhossz között az előzőhöz hasonló tendenciát figyeltünk meg. Mindhárom kísérletben látható, hogy az *in vitro* hajtáshossz adatok és a szántóföldi lombtömeg értékek között közepesen erős kapcsolat van. A 2. és 3. kísérlet adatai között nagyon sok hasonlóság fedezhető fel. A hajtáshossz-gyökérhossz, illetve a szántóföldi gumótömeg és az *in vitro* gyökértömeg között laza kapcsolatot tapasztaltunk. Az esetek döntő többségében a szántóföldi vízpotenciál az összes *in vitro*, illetve szántóföldi adattal korrelál. Az 1. és 3. kísérletben a szántóföldi lombtömeg és *in vitro* hajtástömeg, illetve szántóföldi lombtömeg és az *in vitro* gyökértömeg között fedeztünk fel laza kapcsolatot. Összességében elmondható, hogy a mért adatok között van lineáris kapcsolat. Mindenképpen meg kell jegyezni, hogy a kísérlet alanyai biológiai szervezetek, így teljesen lineáris kapcsolatra nem, illetve nagyon kevés esetben számíthatunk. A szántóföldi eredményekkel mutatott kapcsolat azonban biztató a módszer gyakorlati alkalmazhatósága tekintetében.

4. táblázat: *In vitro* és szántóföldi adatok korrelációmátrixa

1.kísérlet	Gyökértömeg	Hajtástömeg	Gyökérhossz	Hajtáshossz	Gumót SZ	Lombt SZ	Vízpot SZ
Gyök.tömeg	1						
Hajtástömeg	0,450	1					
Gyök.hossz	0,537	0,638	1				
Hajtáshossz	-0,337	0,265	0,121	1			
Gumót SZ	0,025	0,024	-0,092	0,095	1		
Lombt SZ	-0,211	0,311	-0,077	0,511	0,005	1	
Vízpot SZ	0,184	0,291	0,051	0,010	-0,276	0,452	1

2.kísérlet	Gyökértömeg	Hajtástömeg	Gyökérhossz	Hajtáshossz	Gumót SZ	Lombt SZ	Vízpot SZ
Gyök.tömeg	1						
Hajtástömeg	0,518	1					
Gyök.hossz	0,707	0,387	1				
Hajtáshossz	0,416	0,503	0,434	1			
Gumót SZ	0,048	-0,040	-0,256	-0,025	1		
Lombt SZ	0,017	0,175	0,186	0,521	0,005	1	
Vízpot SZ	-0,364	0,131	-0,342	0,380	-0,276	0,452	1

3.kísérlet	Gyökértömeg	Hajtástömeg	Gyökérhossz	Hajtáshossz	Gumót SZ	Lombt SZ	Vízpot SZ
Gyökértömeg	1						
Hajtástömeg	0,821	1					
Gyökérhossz	0,666	0,744	1				
Hajtáshossz	-0,075	0,075	0,285	1			
Gumót SZ	-0,087	-0,048	-0,369	-0,046	1		
Lombt SZ	-0,478	-0,277	-0,103	0,523	0,005	1	
Vízpot SZ	-0,622	-0,376	-0,280	0,398	-0,276	0,452	1

A zöld szín a szoros, a sárga a közepes, míg a kék szín a laza kapcsolatokat jelöli.

3.2.5 A kísérlet ismételhetősége

Mivel az első és második kísérlet nem hozott konzekvens eredményt, feltétlenül meg kellett vizsgálnunk a módszer ismételhetőségét, hogy alkalmas-e a nitrogénhasznosító képesség vizsgálatára. UNIANOVA és DUNCAN teszt segítségével elemeztük a gyökér-, illetve hajtáshossz adatokat. A kísérlet akkor ismételhető, ha nincs, illetve minél kevesebb az ismételt kísérletek közti különbség. Az eredményeket az **5. táblázat** szemlélteti.

Nem tapasztaltunk szignifikáns különbséget az ismételt kísérletek között az egész adagú nitrogénellátás mellett nevelt Balatoni Rózsa genotípusnál, sem a hajtáshossz, sem a gyökérhossz tekintetében, egyik mintavételi időpontban sem, tehát az eredmények ismételhetők. A White Lady genotípus esetén is ugyanez tapasztalható egész adagú nitrogénellátás mellett, kivéve gyökérhossz tekintetében, a 3. hetes mintavételi időpontban, mely esetben a 2. kísérlet alkalmával kiugróan magas értéket kaptunk. Az egész adagú

nitrogénnel ellátott 00.35 vonal esetében gyökérhossz tekintetében nem tapasztaltunk szignifikáns különbséget. A Lorett genotípusnál, féladagú nitrogén mellett a 3. hetes hajtáshossz, illetve a 2. hetes gyökérhossz eredményekben nem tapasztalható szignifikáns különbség a kísérletek között, azaz ezen esetekben is ismételhetőek az eredmények.

Kísérletünkben nem található olyan genotípus, ahol mindhárom kísérlet szignifikánsan különbözik. Jellemző azonban, hogy egy kísérlet szignifikánsan különbözik a másik két ismételéstől. Az esetek döntő többségében a 2. kísérlet eredményei eltérnek az 1. és 3. kísérlet eredményeitől. Itt kiugróan magas értékeket tapasztaltunk, de ennek okára magyarázatot egyelőre nem találtunk. A burgonya genotípusok nitrogénhasznosító képességének jellemzésére az alkalmazott módszer alkalmasságának megállapítására további vizsgálatok szükségesek.

5. táblázat: Hosszértékek alakulása, különböző mintavételi időszakokban, valamint az ismételt kísérletekben

Genotípus és N-kezelés	Kísérlet	Hajtáshossz		Gyökérhossz	
		2. hét	3. hét	2. hét	3. hét
BR 0,5	1.	51,25 a	73,5 a	248,25 ab	256,25 a
	2.	79,25 b	115,75 b	318,75 b	364,5 a
	3.	57,75 a	97,5 ab	214,75 a	322,25 a
BR 1	1.	82,5 a	115,75 a	249,25 a	340,75 a
	2.	64,75 a	108,75 a	246,5 a	458,5 a
	3.	76,25 a	89 a	227 a	329,25 a
Chipke 0,5	1.	41,25 a	57,75 a	109,25 a	230,75 a
	2.	91,25 b	174,75 b	369,5 b	696 b
	3.	73,5 ab	124,25 ab	325,75 ab	242,25 a
Chipke 1	1.	89,25 a	122,75 a	357,25 a	527 a
	2.	69,25 a	155,75 b	577,5 b	756,75 b
	3.	77,5 a	112,5 a	322,75 a	379,25 a
Desiré 0,5	1.	16 a	30,5 a	57,25 a	229,25 a
	2.	65 c	62,75 b	507,25 c	696 b
	3.	40 b	53,5 b	245,75 b	278,5 a
Desiré 1	1.	26,75 a	46 a	150 a	337,5 a
	2.	77,25 c	59,25 a	566,25 c	870,75 b
	3.	45 b	66,75 a	287,25 b	462,25 a
Hópehely 0,5	1.	50 a	54,5 a	194 a	264,25 a
	2.	69,25 b	128,75 c	351,25 b	841,5 b
	3.	58,5 ab	94,75 b	386,25 b	359 a
Hópehely 1	1.	55 a	102 b	252,5 a	461,75 a
	2.	101,75 b	95,75 b	694 c	1081,75 b
	3.	63,75 a	59,25 a	371 b	443,75 a

Katica 0,5	1.	43 a	53,25 a	218,75 a	377 b
	2.	80 a	135,25 b	461,5 b	447,25 c
	3.	51,75 a	63,5 a	166 a	195,5 a
Katica 1	1.	45,25 a	76,5 a	122,25 a	182,25 a
	2.	57,75 b	75,75 a	473 b	364,75 b
	3.	51,5 ab	69,75 a	187,25 a	247,25 a
Lorett 0,5	1.	58,75 a	82,75 a	217,5 a	293 ab
	2.	102,25 b	95,75 a	257,25 a	442,5 b
	3.	68,25 a	107,5 a	258,75 a	256,75 a
Lorett 1	1.	55,25 a	128 a	203,75 a	345,5 a
	2.	114,25 c	136,25 a	421,5 b	848,75 b
	3.	79 b	104 a	393,25 b	294,75 a
O1.536 0,5	1.	52 a	94,25 a	164,5 a	191 a
	2.	140,5 b	170,75 b	652 b	1026,75 b
	3.	83,75 a	108,25 a	240,5 a	188,25 a
O1.536 1	1.	92,5 ab	148,5 a	176 a	162,25 a
	2.	114 b	172 a	381,75 b	973,25 b
	3.	64,75 a	120,25 a	240 a	319,75 a
O454 0,5	1.	41 a	51,5 a	406,5 b	434,75 b
	2.	60 b	101 b	349,25 b	372,25 b
	3.	38,5 a	60,25 a	77,25 a	52,25 a
O454 1	1.	50,5 a	66,5 a	276,75 b	366 b
	2.	65 b	114,25 b	525 c	743,75 c
	3.	41,75 a	44,75 a	138,25 a	73,5 a
OO35 0,5	1.	56,75 a	97,25 a	326,75 b	514,5 b
	2.	78,75 a	136,75 b	418,25 c	685 c
	3.	93,75 a	134,25 b	241 a	247 a
OO35 1	1.	60,5 a	90,5 a	310,25 a	331,5 a
	2.	78 a	125,75 a	430,5 b	924,5 b
	3.	85 a	93,5 a	311,25 a	270,75 a
WL 0,5	1.	40 a	51,75 a	316,75 a	472,5 ab
	2.	47,5 a	93,25 b	365,5 a	544,5 b
	3.	68 b	88,75 b	388,75 a	249 a
WL 1	1.	71,75 a	115,75 a	333,5 a	506,75 a
	2.	69,25 a	175,75 a	334,75 a	1181,25 b
	3.	81,75 a	121,5 a	394 a	510,5 a

A táblázatban az értékek a hozszzadatok főátlagát mutatják. A különböző betűk a kísérletek ismétlései közti szignifikáns különbséget jelzik, adott mintavételi időpontban a genotípusok között, $P < 0,05$ szinten, Duncan teszt alapján. Zöld szín azon genotípusokat jelzi, melyeknél (adott N-kezelés mellett) nem tapasztaltunk szignifikáns különbséget a három kísérlet között. Sárga szín jelzi, ha egy kísérlet szignifikánsan különbözik a másik két ismétléstől.

4 Összefoglalás

A burgonya rendkívül sokoldalúan felhasználható kultúrnövény. Napjainkban a Világon 368,4 millió tonnát takarítanak be, a termőterület 19,3 millió ha. Alkalmazkodóképességének köszönhetően a burgonya az Egyenlítőtől a sarkkörökig szinte bárhol termeszthető.

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. 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 a N_2O üvegház-hatása 296-szorosa a CO_2 üvegház-hatásának. A N_2O nemcsak az üvegház-hatást fokozza, hanem az ózonréteg elvékonyodásában is jelentős szerepet játszik. A növény által fel nem használt N másik része a felszíni vizekben eutrofizációt idéz elő, az ivóvízbe kerülve pedig mérgezést is okozhat. Kijelenthetjük tehát, hogy a nitrogén műtrágyák előállítása és felhasználása költséges és erősen szennyezi a környezetet. Ezért szükséges olyan fajtákat előállítani, amelyek a tápanyagot jobb hatásokon hasznosítják, és amelyek használatával csökkenthető a kijuttatott nitrogén mennyisége, ezzel együtt javul a termelés gazdaságossága, és csökken a környezet terhelése.

A burgonyafajták nitrogénhasznosító 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, hogy a Burgonyakutatói Központban nemesített genotípusok nitrogénhasznosító képességéről adatokat kapjunk olyan módszerrel, amely gyorsan, olcsón,

sok genotípuson elvégezhető. A vizsgálatokat a keszthelyi Burgonyakutatói Központban végeztem, *in vitro*, kétkezeléses (két N-ellátási szint) kísérletben. Kontrollként alap Murashige-Skoog táptalajt használtunk, amelyet a Burgonyakutatói Központban a tömegszaporításban alkalmaznak. Az alkalmazott nitrogénkezelés fél nitrogén adagos Murashige-Skoog táptalajon történt. A kísérletben tíz genotípust vizsgáltunk, a kezeléseket öt ismételtsben végeztük mindkét nitrogénes szinten. A mérések két időpontban történtek, két, illetve három hétig nevelt növényeken. Egy kísérlet alkalmával így összesen kétszáz egyed adatait felvételeztük. A kísérletet háromszor végeztük el, az elsőt 2011. őszén (október vége), a másodikat 2012. nyarán (június eleje), a harmadikat 2013. nyarán (június eleje). A kísérlet harmadszori ismételtsére azért volt szükség, mert az első és második kísérlet nem hozott konzekvens eredményt. Így a harmadik ismételts a másodikkal azonos hónapban, egy évvel később történt. A vizsgálatok során egy holland (Desiree), és öt keszthelyi (Balatoni Rózsa, Hópehely, Katica, Lorett, White Lady) fajtát vizsgáltunk, valamint négy, a Burgonyakutatói Központban létrehozott nemesítési vonalat (00.35, Chipke, 01.536, 00.454). Mértük a gyökerek hosszát és a darabszámát, a hajtás hosszát, valamint a gyökér és a hajtás száraz tömegét. A genotípusok vegetatív fejlődéséből, a biomassza produkcióból, valamint a kontroll és a stresszhatásnak (N-hiány) kitett egyedek közti eltérésből képet kaphatunk a nitrogénhasznosító képességről.

Az értékelés során arra kerestünk választ, hogy a N-hiány miképp befolyásolja a növekedést. Az eredményeket gyökérhossz, hajtáshossz és biomassza produkció tekintetében értékeltük. Az adatok rendszerezése után a statisztikai elemzést az SPSS Statistics 20 statisztikai programmal végeztük UNIANOVA és DUNCAN post hoc teszt segítségével. Korreláció analízist is végeztünk, amelyben összehasonlíthattuk az *in vitro* hossz és tömeg, valamint a szántóföldi adatokat.

Az eddigi eredmények azt mutatják, hogy a vizsgált genotípusok/fajták nitrogénhasznosító képességében nagymértékű heterogenitás mutatkozik, mely a jobb nitrogénhasznosító képességű fajták nemesítésének lehetőségét kínálja.

Kísérletünk célja a genotípusok közti különbség, a NUE tekintetében egy rangsor felállítása volt, miközben nem feledkeztünk meg arról, hogy az *in vitro* eredmények nem konvertálhatók a szántóföldi viselkedésre. A továbbiakban szeretnénk még több genotípust bevonni a vizsgálatokba. Távlati céljaink a NUE tekintetében megmutatkozó genotípusos különbségek genetikai hátterének vizsgálata, majd ezen eredmények alapján javított nitrogénhasznosító képességű fajták nemesítésének elősegítése.

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 laboráns, aki nagy türelemmel vezetett be a mikroszaporítás rejtelseibe, valamint a Burgonyakutatói Központ dolgozóit, akik segítségével a kísérleteimet csak nagy nehézségek árán tudtam volna elvégezni.

Hálás vagyok Kollaricsné Horváth Margitnak, és Aranyi Nikolett Rékának a statisztikai elemzésekben nyújtott segítségért. Nélkülözhetetlen szakmai tanácsaikkal, önzetlen támogatásukkal alapvetően hozzájárultak szakmai fejlődésemhez és sikeres munkámhoz.

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

NYILATKOZAT

Aláírással nyilatkozom arról, hogy a dolgozat saját munkám, a felhasznált irodalmat korrekt módon kezeltem, továbbá a munkámra vonatkozó jogszabályokat betartottam.

Keszthely, 20.....

aláírás

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> (Utolsó letöltés: 2012.10.26.)

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> (Utolsó letöltés: 2012.10.23.)

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 in 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> (Utolsó letöltés: 2012.10.26.)

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. www.sciencemag.org (Utolsó letöltés: 2012.10.23.)

EUROSTAT: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/> (Utolsó letöltés: 2013.10.23.)

FAO: <http://faostat3.fao.org/> (Utolsó letöltés: 2013.10.23.)

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> (Utolsó letöltés: 2012.10.23.)

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 (Utolsó letöltés: 2012.11.02.)

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. Agroiinform 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 kásanövények 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.

KONGHAUG, G. (1998.): Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions in Fertilizer Production. IFA Technical Conference, Marrakech, Morocco, 28 September-1 October, 1998. p.18.

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> (Utolsó letöltés: 2013.10.23.)

LÁNG G. (1961.): Növénytermesztés. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. p.180-184.

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: Jámorné 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 (Utolsó letöltés: 2012.10.23.)

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>
(Utolsó letöltés: 2012.10.23.)

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.