

Opponensi vélemény

Ördögné Kolbert Zsuzsanna

A nitrogén-monoxid növekedésszabályozó, toleranciafokozó és nitro-oxidatív stresszt kiváltó szerepei elemtöbbletek hatására növényekben

című MTA doktori értekezéséről

Az értekezés olvasásakor „deja vu” érzésem volt ugyanis annak idején egyetemista koromban a JATE Növényélettani tanszékén az 1970-es évek végén Zsoldos Ferenc professzor úr igyekezett a növények ásványi táplálkozásáról és az ezzel kapcsolatos jelenségekről pl.: ionfelvétel, a környezeti stresszhatások, a nitrittoxicitás, hiány-tünetek kialakulása stb. megismertetni bennünket. Ezek után nagy érdeklődéssel olvastam Ördögné Kolbert Zsuzsanna értekezését, mivel kutatási területe erre a nagymúltú nemzetközi elismerést méltán kapott iskolára alapszik. Természetesen a jelölt kutatásai csak közvetve kapcsolódnak a „Zsoldos iskolához”. Az eltelt idő miatt az élő kapcsolatot Erdei László professzor úr jelentette, aki 1995-2010 között volt a Növénybiológiai tanszék vezetője. A jelölt Erdei László témavezetésével kezdte el kutatásait, melynek célja a reaktív nitrogénformák metabolizmusának megismerése, továbbá hormonokkal, valamint egyéb jelmolekulákkal (pl. reaktív oxigénformákkal) való kapcsolatának tisztázása volt.

Az értekezés a reaktív nitrogénformák szerepét mutatja be a növények környezeti stresszorokra pl.: esszenciális és nem esszenciális elemek talajban történő felhalmozódására adott válaszreakciói során. A jelölt a dolgozatban részletesen bemutatja a gyökérszövet morfológiai és élettani reakcióit különböző abiotikus stresszekre és azt, hogy a nitrogén-monoxid és reakciótermékei hogyan szabályozzák a gyökérszövet fejlődését illetve stressztűrését. Az is bemutatásra kerül, hogy a reaktív nitrogénformák a reaktív oxigén-gyökökkel való interakciójuk révén csökkenthetik a növények károsodásának mértékét abiotikus stressz esetén. Figyelembe véve az utóbbi évek kiszámíthatatlan időjárását továbbá, az emberi populáció növekedésével együtt járó talajszennyeződés növekedést, a jelölt által feltárt stressztűrési mechanizmus új megközelítést adhat a szennyeződést jobban tűrő haszonnövények nemesítéséhez. Összefoglalva: a jelölt témaválasztása mind elméleti, mind gyakorlati szempontból időszerűnek és fontosnak tekinthető.

Az értekezés formai és tartalmi megfelelése:

Ördögné Kolbert Zsuzsanna MTA doktori értekezése 149 számozott oldalból áll, melyet további 7 oldal függelék egészít ki. A dolgozat felépítése megfelel az elvárt követelményeknek: 3 oldal Tartalomjegyzék, 2 oldal Rövidítések jegyzéke, 2 oldal Bevezetés, 24 oldal Irodalmi áttekintés, 1 oldal Kutatási cél, 14 oldal Anyag és módszer, 61 oldal

Eredmények, 23 oldal Eredmények megvitatása, 5 oldal Összefoglalás, 1 oldal Új tudományos eredmények, 10 oldal Felhasznált Irodalom, 1 oldal Köszönetnyilvánítás.

A dolgozat, ugyan úgy, mint az alapjául szolgáló kutatások, logikusan és jól felépített. Stílusa, nyelvezete jó, szakmailag korrekt.

A szövegben sok a rövidítés ezért a „Rövidítések jegyzéke” nagyon hasznos az olvasó számára. A Bevezetés röviden bemutatja a kutatás tárgyát, legfontosabb céljait és az elért eredmények feltételezett gyakorlati hasznosíthatóságát. Irodalmi áttekintés jól szerkesztett didaktikus. Először bemutatja a gyökérrendszer alkalmazkodását fémion okozta stressz körülmények között és bevezeti a stresszindukált morfogenetikai válasz (SIMV) fogalmát. Ezzel kellő háttérrel ad a dolgozatban tárgyalt eredmények megértéséhez. Ezután ismerteti azoknak a fémeknek (réz, cink, nikkel és szelén) biológiai hatásait melyek felhalmozódása hatással van a gyökérfejlődésre. Külön részben tárgyalja a gyökérfejlődést szabályozó belső faktorokat és a reaktív nitrogénformák biológiai szerepét. Az Anyagok és módszerek fejezet kellően részletes. A módszertani leírások illetve a módszert közlő cikkekre való hivatkozások korrektek és arányosak.

Az „Eredmények” rész rendkívül dekoratív és adatgazdag. Szépen megrajzolt grafikonok (63 ábra), színes képek és táblázatok segítik az olvasót a megértésben. Dicséretes, hogy a jelölt nagyon ügyelt arra, hogy az ábrák aláírása érthető és megfelelően részletes legyen. Ennek ellenére a dolgozat nem könnyű olvasmány. Az eredmények a jelölt 16 cikkének „zanzásított” tartalmát foglalják össze, ezért az olvasó nagyon sokfajta kutatási részlettel találkozhat. Ezzel kapcsolatban kiemelésre érdemes, hogy a jelölt szinte egy teljes mutánsbankkal dolgozott: A lúdfű (*Arabidopsis*) hormonmutáns és transzgenikus mutánsok száma 14, az NO-homeosztázisban érintett mutáns és transzgenikus lúdfű mutánsok száma 5 stb. .. volt. A mutánsok használatával a jelölt képes volt a jelátvitelben vagy a bioszintézisben résztvevő egyedi gének hatását tanulmányozni. Egy kisebb jelentőségű megjegyzésem lenne itt: nevezetesen, az Akadémia szereti, ha magyar megnevezést használnak a kutatók ott, ahol ez lehetséges. Ezért írtam le az *Arabidopsis thaliana* magyar nevét, ami lúdfű. Hozzá kell tennem ehhez a megjegyzéshez, hogy a jelölt a „Tézisekben” már keverten használja az *Arabidopsis* illetve a lúdfű elnevezést.

„5.5.1.5. A nikkel által okozott nitro-oxidatív stressz és ennek összefüggése a toleranciával” című fejezetben a Jelölt a nikkelstressz hatását a nitro-oxidatív jelátvitellel és a stressztűrővel összefüggésben összehasonlító kísérleti rendszerben vizsgálta. A metallofita *Brassica juncea*-t és a vad típusú lúdfűvet (*Arabidopsis thaliana*) hasonlította össze. Mivel két különböző növényfajról van szó természetes, hogy a reakcióik eltérnek. – Nagyon sok stresszreakció a genetikai háttér függvénye és sokszor nincs összefüggésben magával a stressztűrővel.- A lúdfű bár a *Brassicaceae* családba tartozik de rendszertani /genetikai szempontból távolabb áll a *B. juncea*-tól mint a *B. napus*. Az előző kísérleti rendszerben a *Brassica juncea* (indiai mustár) cink-tűrőnek, míg a *Brassica napus* (olajrepcé) cinkérzékenynek bizonyult. **Kérdésem az, hogy mi volt az oka annak, hogy nem ezt a két utóbbi fajt hasonlították össze a nikkeltűrési kísérletben?**

Az „Eredmények megvitatása” rész jól tagolt, a Jelölt eredményeit nemzetközi kitekintésben diszkutálja. Az összefoglalás elegáns kivitelű választékosan fogalmazott szöveget tartalmaz, ami a témában nem szakértő olvasó számára is érthető.

Új tudományos eredmények:

A Jelölről elmondható, hogy egy új tudományos iskolát alapított, mely ismertséget és elismerést hozott számára hazánkban és külföldön egyaránt. A tézispontokban megfogalmazott eredményeket elfogadom a Jelölt új tudományos eredményeinek. Ezek az eredmények 5 pontban összefoglalva a következők:

1. Kimutatták, hogy a stresszindukált morfogenetikai válasz (SIMV-gyökérfenotípus) megjelenése független az elem típusától (esszencialitás, redoxaktivitás, fémes és nemfémes jelleg), de függ az elem koncentrációjától és a terhelés időtartamától is.
2. Megállapították, hogy klasszikus SIMV-gyökérfenotípus nem jelenik meg hiperakkumuláló/stressztűrő fajokban, de a gyökérnövekedés átprogramozódik vagy fennmarad, amiből a gyökérnövekedési plaszticitás és az elemtűrési képesség közötti kapcsolatra következtethetünk.
3. Igazolták, hogy az elemtöbblet mellett növekedő növények gyökérzetében a fitohormonok és a NO között antagonistá szabályozó kapcsolat áll fenn, ami hozzájárul a gyökérnövekedési válaszokhoz. Elsőként határozták meg, hogy a NO növekedésszabályozó szerepe kapcsolódik a strigolaktonokhoz és a karrikin jelátvitelhez is.
4. Mutáns lúdfüvonalak és farmakológiai módszerek segítségével igazolták, hogy a NO fokozza az elemtöbbletekkel szembeni toleranciát.
5. Elsőként mutatták ki a tirozinnitrációt mint a toxicitáshoz hozzájáruló fehérjemódosítást cink-, cink-oxid nanorészecske-, szelén- és nikkelt stressznek kitett különböző növényfajokban. Ezek alapján kijelenthető, hogy a tirozinnitráció az elemtöbbletnek kitett növények általános, proteomot érintő válasza, vagyis megbízható biomarkernek tekinthető a károsodások detektálásában.

Az értekezéshez kapcsolódó kérdéseim megjegyzéseim:

Az értekezés olvasásakor szembeötlő volt a „Bevezetés” illetve az „Összefoglalás” fejezetek végén a Jelölt ismételt megjegyzése az eredmények gyakorlati hasznosíthatóságáról: „...a feltárt összefüggések alapján alapot szolgáltathatnak jobb ellenállóságú haszonnövények előállításához, valamint a toleranciafokozó mezőgazdasági kezelések és a károsodás mértékét detektáló biomarker-alapú eljárások kidolgozásához.” Mivel én az agrár-alapkutatásban dolgozom az a tapasztalatom, hogy a gyakorlati alkalmazáshoz szabadalom illetve eljárás-leírás szükséges, melynek használata csak akkor terjed el, ha az új eljárás több éves alkalmazása bizonyítja az eredményességet. Úgy gondolom, bár lehet, hogy tévedek a jelölt csak engedett annak a nyomásnak, hogy az alapkutatási eredményeket is forintosítani kell.

Ezek után megkérdezem, hogyan képzeli a jelölt az eredményeinek hasznosítást a nemesítésben?! Mit ért azon, hogy eredményei hozzájárulhatnak toleranciafokozó

mezőgazdasági kezelések és a károsodás mértékét detektáló biomarker-alapú eljárások kidolgozásához?

Összefoglalva: az értekezés kiválóan megírt, szakmailag igen magas színvonalú és minőségű dolgozat, amely jól tükrözi Ördögné Kolbert Zsuzsanna kiváló szakmai tudását, elméleti és módszertani felkészültségét. A jelölt eredményei a kutatási területe élvonalába tartoznak köszönhetően a legmodernebb élettani, mikroszkópos és molekuláris genetikai módszerek kombinációjának.

Fentiek alapján a doktori művet formai és tartalmi szempontból egyaránt alkalmasnak tartom a nyilvános vitára.

Martonvásár, 2023. 06. 14.



Dr. Galiba Gábor Ottó
egyetemi tanár, az MTA Doktora