

## Válasz

**Prof. Dr. Fári Miklós, az MTA doktora, Debreceni Egyetem professzor emeritusa**  
**Lantos Csaba: Az *in vitro* androgenezis kutatási eredményei *Triticum* fajok**  
**nemesítésében**

című az MTA doktora cím elnyerésére készített értekezésének bírálatára

Köszönöm, Prof. Dr. Fári Miklós Gábornak, MTA doktorának, hogy doktori értekezésem bírálatát elvállalta. Köszönöm szépen az értekezés és tudományos teljesítmény pozitív értékelését, a tartalmi és irodalmi kiegészítéseket, javaslatokat, valamint a jövőbe mutató felvetéseket, kutatási lehetőségeket és kérdéseket.

Köszönöm szépen, hogy kitért a mikrspórák gametofitikus és sporofitikus fejlődésmenetének, ELS-k fejlődésének szélesebb körű értelmezésére, pollen dimorfizmusra. A disszertáció a mikrspórák *in vitro* fejlődésmenetére, az *in vitro* androgenezis indukciójára fókuszált, így a mikrspórák *in vivo* fejlődésmenete és a pollen dimorfizmus kutatás publikált eredményei nem szerepeltek az értekezésben. Köszönöm, hogy a bírálat során részletesen ismertette Maheswary és mtsai., Street professzor, Nemece, Stow legfontosabb kutatási eredményeit. Figyelemre méltó, hogy Nemece már 1900 előtt (1898) a pollen fejlődésmenetének intenzív kutatása során megfigyelte *in vivo* körülmények között a mikrspórák fejlődésének különböző útjait, „embriózsákszerű óriás pollenszemek fejlődését”, majd két-három évtizeddel később Stow mikrspóra eredetű embriók fejlődéséről írt.

Külön köszönöm, hogy részletezte a hazai vonatkozású, nemzetközi szintű kutatási eredményeket, Gimesi professzor és mtsai. munkásságát, akik a világon az elsők között kutatták a pollen dimorfizmus jelenségét. Nemzetközi élvonalba tartozó Nemece és Stow kutatókkal párhuzamosan publikált, és beszámolt a pollen eredetű struktúrák *in vivo* „csírázásáról”. Munkájukkal letették a hazai *in vitro* haploidkutatás alapjait, iskolát teremtettek, mely nyomán olyan nagyságok nőhettek fel, mint Maróti Mihály professzor és Heszky László akadémikus. Heszky László akadémikus egykori tanítványaként hálával és köszönettel tartozom az elődöknek. Magam is sokat tanultam ezen korai publikációkból, és értékes információkkal gazdagodtam.

Opponensem új tudományos eredményekkel kapcsolatos pozitív véleményét szintén köszönöm.

Válaszok a kérdésekre:

**- Ismertek-e a szakirodalomban az alakor haploidok előállítására más, nem *in vitro* indukciós módszerek, illetve milyen hatékonysággal jellemezhetők ezek?**

Már az 1900-as évek első felében számos megközelítést használtak a kutatók, hogy haploid alakor növényeket állítsanak elő.

Haploid növényeket természetes körülmények között is lehet találni a populációkban. Katayama (1934) szántóföldi körülmények között termesztett alakor populációban 0,48% gyakorisággal figyelt meg haploid egyedeket. Smith (1946) megfigyelései alapján a természetben előforduló haploidok aránya 0,08% volt alakorban.

A donor kalászokat meiózis idején röntgen sugárzással kezelték, majd öntermékenyítették (Katayama 1934), így a módszerrel 5,26%-ra emelték a haploidok arányát a vizsgált populációban.

Röntgensugárral kezelt pollennel porozták be alakor kalászok termőit, az így kapott populációban a haploidok aránya 13,8% volt (Katayama 1934, Kihara 1940, Kihara és Katayama 1932, Kihara és Yamashita 1939), míg Smith 0,48%-os gyakoriságot tudott elérni e módszerrel.

Az anyanövények megporzását néhány nappal (3-9) megkésve végezték el, hogy haploid egyedeket kapjanak F<sub>1</sub> hibrid szemek helyett (Kihara 1940). A módszerrel 9 napos kezelés esetében 13 haploidot azonosított 63 növény között (20,6%).

Először Müntzing írta le az ikeresírás módszert (Müntzing 1938). Ikeresírás növények kisebb-nagyobb gyakorisággal, de előfordulnak a természetben. Ilyen esetben a két hajtás közül az egyik (a kisebb) nagy valószínűséggel haploid. A módszer alkalmazásával 0,78%-os arányban figyeltek meg haploid növényeket alakor keresztezett populációiban, önbeporzást vagy szabad elvirágzást követően nem találtak ikeresírás növényeket (Kihara 1940).

A fenn említet módszerek a következő évtizedek során nem váltak széleskörűen alkalmazott rutin eljárássá a haploid illetve dihaploid növények előállítására.

**- Tekintettel a jövő kihívásaira, trendjeire, milyen lehetőséget lát Jelölt arra, hogy Magyarország szakemberei is bekapcsolódjanak az „épület-integrált búza”, az „űrbúza” és/vagy akár a speciális „zöld búzatej” nemesítésébe, kutatásába-fejlesztésébe? Milyen K+F programot, programokat tudna ajánlani a hazai döntéshozóknak, vállalkozásoknak?**

A felvázolt három kutatási téma különleges csemegének számít a búzanemesítők és kutatók számára a Kárpát-medence jelen kihívásai között, új távlatokat nyit meg, új szemszögből közelíti meg a kérdéskört. Az épület-integrált búza termesztés alkalmazásában hatalmas termés potenciál rejlik, az éghajlattól független kontrolált körülmények a terméshozást garantálják. A zárt rendszerben történő termesztés során okszerű növényvédelemmel, tápanyag- és vízgazdálkodással tudunk tervezni, ami környezetkímélő megközelítés. Nem csoda, hogy intenzív kutatás folyik e területen a világ több részén. Néhány évvel ezelőtt minket is megkerestek e témával kapcsolatban, de nem született megállapodás a részletes kutatási programról. Az űrkutatás részéről merült fel az igény, hogyan lehet megoldani az asztronauták egészséges táplálkozását egy hosszú idejű űrutazás során. Gabonafajok közül a kenyérbúzára már néhány évtizeddel ezelőtt felfigyeltek, és elkezdődött a megfelelő genotípusok szelekciója. A „zöld búzatej”-nek vagy „búzafehérje”-nek a szervezetre gyakorolt pozitív, egészségmegőrző hatása régóta ismert. Étrendkiegészítőként hatékony forrása lehet vitaminoknak, ásványi anyagoknak, esszenciális aminosavaknak stb., azonban a genotípus, felnevelési és feldolgozási körülmények mind-mind befolyásolják a minőségét. Így alkalmazásával és hatásával kapcsolatban a mai napig merülnek fel tudományos kérdések.

Meg kell jegyezni, hogy jelenleg a hazai búzanemesítés kihívásokkal megtűzdelte korszakát éljük (klímaváltozás, vízhiány, egyenetlen csapadékeloszlás, megváltozott piaci körülmények, szaporodó versenytársak, túlkínálat, kiemelkedő minőség vagy bőtermés örök kérdése, input anyagok árváltozásai stb.). Így, a hazai búzanemesítők és kutatók egyre nehezebb

piaci körülmények között keresik a megoldásokat a versenyképes fajták előállítására. Versenyképességük megőrzése az ország szuverenitása szempontjából is kulcsfontosságú, hiszen ezáltal garantálható a hazai gazdák számára szükséges vetőmag hosszútávon is folytonos és biztonságos elérhetősége.

Az épület-integrált búza termesztés kiváló lehetőséget kínál a világ számos pontján az élelmiszerhiány csökkentésére. A Kárpát-medencében jelenleg túlkínálat van búzából, így a technológiának versenyképességét még fokozni kell a szántóföldön megtermelt, illetve a külföldről érkező gabonával szemben. Magas termésátlaggal és hozzáadott értékkel kell rendelkeznie a terménynek, hogy helyet kapjon a technológia a régióban. Figyelemre méltó, hogy egyes becslések szerint a technológia teljeskörű optimalizálásával (több emeletes termesztőrendszer, mesterséges megvilágítás, több ciklus évente, tervszerű tápanyag- és vízgazdálkodás, emelt CO<sub>2</sub> szint stb.) 700-2 000 t/ha/év termésátlagot is el lehet érni (Asseng és mtsai. 2020).

Hazánkban őszi búza genotípusokat termesztünk közel 100%-ban termőterületeinken, ellenben az épület-integrált termesztés során más kivánalmaknak kell megfelelnie a termesztésbe vonandó fajtáknak. Rövid tenyészidejű genotípusokra van szükség, tavaszi búza genotípusok használatával a vernalizációs periódus kiiktatható. A polcos rendszerű termesztéstechnológia miatt fontos nemesítési szempont az alacsony növénymagasság (kb. 0,5 m-hez közelítő érték lenne ideális) és a nagy harvest index. A technológiának köszönhetően a szélsőséges abiotikus stresszek kiküszöbölhetők, és a biotikus stresszfaktorok okszerű növényvédelemmel kontrolálhatóak.

Összegezve az épület-integrált termesztési körülmények között termesztett búza hozama több százszorosa lehet a szántóföldi termés hozamnak a magasabb hozamok, az évi több (5) betakarítás és a függőlegesen kialakított termesztési rendszernek és egyéb technológiai elemeknek köszönhetően. A zárt térben termesztett búza kevesebb földterületet használ, mint a szántóföldi, független az éghajlattól, a víz nagy része újra felhasználható, a kórokozók és kártevők jól kontrolálhatóak, és a tápanyagvesztés mérsékelhető. Azonban a mesterséges világítás magas energiaköltségei és a beruházási költségek (üvegházi termesztési rendszer kialakítása) miatt nem valószínű, hogy versenyképes a technológia a jelenlegi piaci árak mellett (Asseng és mtsai. 2020). További fejlesztések szükségesek még a technológia területén is. Jelenleg a téma izgalmas kutatási terület, mely ígéretes technológiává válhat a jövőben a változó ökológiai, ökonómiai, politikai változások függvényében.

Az „űrbúza” kutatási és nemesítési program esetében hasonló elvárásokat támasztunk a termesztendő fajtával szemben, mint az épület-integrált termesztéstechnológia esetében. Előnyben részesülnek a rövid tenyészidejű és nagy harvest indexű genotípusok, melyeknek lehetőleg minél kisebb legyen a helyigénye. A genotípusok kiválasztásánál fontos szempontnak számít, hogy mesterséges körülmények között is jól termeszthetőek legyenek. A ‘Super Dwarf’ nevű fajtát Dr. Bruce G Bugbee, a CYMMIT kutatója 1984-ben szelektálta. A fajta növénymagassága mesterséges körülmények között 25-30 cm, így már számos űrben történő termesztéssel kapcsolatos kutatási programban felhasználták (Aniskina és mtsai. 2024). A ‘Super Dwarf’ fajta felhasználásával nemesítették az ‘Apogee’ törpe, piros szemű tavaszi búzafajtát 1996-ban, mely rendkívül rövid életciklusáról ismert, vetés után 25-30 nappal már virágzik. Rendkívül rövid életciklusa genetikailag determinált, négy gén (*VRN-A1*, *VRN-B1*, *VRN-D3*, és *PPD-D1*) játszik benne kulcsszerepet (Li és mtsai. 2017). Az ‘Apogee’ fajtából

kiindulva a termőképesség fokozására törekedtek a nemesítők, és előállították a ' Perigee' piros szemű törpe tavaszi búza genotípust. A nemzetközileg rendelkezésre álló genotípusok jól használhatók a kutatási programok számára. Új genotípusok előállítása az épület-integrált növénytermesztéssel kutatásokkal összekapcsoltnak lenne célszerű.

A „zöld búzatej”, a kenyérbúza (*Triticum aestivum* L.) csírájából készült olyan étrend-kiegészítő, amely gazdag vitaminokban (A, B, C, E), ásványi anyagokban (vas, magnézium, cink, mangán, kálium, kalcium, nátrium és réz) és antioxidánsokban, amelyek hozzájárulnak az egészség megőrzéséhez, és csökkentik a szív- és érrendszeri betegségek, májbetegségek, cukorbetegség és gyulladásos bélbetegségek, valamint többféle ráktípus (pl. szájüregi laphámrák, méhnyakrák és mellrák) kialakulásának a kockázatát (Tamraz és mtsai. 2024). Azonban a növények genotípusa, növekedési ciklusa, a felnevelés körülményei, tápanyagok és egyéb környezeti tényezők, a feldolgozás módja szintén befolyásolják a „zöld búzatej” vagy „búzafűlé” minőségét. A „búzafű” többféle formában felhasználható, például friss gyümölcslé, por, tableta és kapszulák formájában (Banerjee és mtsai.2021). A színes szemű búzákból készített levek táplálkozási profilja (antocianinok, klorofill, fenolok, fehérjék, esszenciális aminosavak, kálium, antioxidánsok) kísérletek alapján jobb volt (fehér < kék < lila < fekete), mint a fehér szemű búzáké (Kaur és mtsai. 2021). A Gabonakutató Nonprofit Közhasznú Kft. színesbúza programja értékes genetikai alapanyagot biztosíthat ilyen irányú további kutatásokhoz, fejlesztésekhez.

Még egyszer köszönöm Opponensem támogató bírálatát, hasznos információt és kiegészítéseit.

Tisztelettel:



.....  
Lantos Csaba  
laboratóriumi egységvezető, laborvezető  
Gabonakutató Nonprofit Közhasznú Kft.  
Termékfejlesztési Igazgatóság  
Kalászos Gabona Nemesítési Osztály  
Laboratóriumi Egység,  
Biotechnológiai Laboratórium

Szeged, 2025. január 15.

Felhasznált irodalom:

- Aniskina T.S., Sudarikov K.A., Levinskikh M.A., Gulevich A.A., Baranova E.N. (2024): Bread Wheat in Space Flight: Is There a Difference in Kernel Quality? *Plants*, 13, 73. <https://doi.org/10.3390/plants13010073>
- Asseng S., Guarina J.R., Raman M., Monje O., Kiss G., Despommier D.D., Meggers F.M., Gauthier P.P.G. (2020): Wheat yield potential in controlled-environment vertical farms. *PNAS* 117(32): 19131–19135.
- Banerjee S., Katiyar P., Kumar V., Waghmode B., Nathani S., Krishnan V., Sircar D., Roy P. (2021): Wheatgrass inhibits the lipopolysaccharide-stimulated inflammatory effect in RAW 264.7 macrophages. *Curr. Res. Toxicol.* 2, 116–127.
- Katayama (1934): Haploid formation by X-rays in *Triticum monococcum*. *Cytologia* 5: 235-237.
- Kaur N., Singh B., Kaur A., Yadav M.P., Singh N., Ahlawat A.K., Singh A.M. (2021) Effect of growing conditions on proximate, mineral, amino acid, phenolic composition and antioxidant properties of wheatgrass from different wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. *Food Chem.* 341, 128201.
- Kihara H., Yamashita K. (1939): Artificial production of haploid and triploid einkorn wheats by pollination with X-ray irradiated pollen. (Commemoration papers on agronomy prepared in honour of Professor Masao Akemine on the occasion of the thirtieth anniversary of his academic service by his friends and pupils, April 1938: 9-20.) *Imp. Bur. Plant Breeding and Genet. Plant Breeding Abs.* 9: 298.
- Kihara H. (1940): Formation of haploids by means of delayed pollination in *Triticum monococcum*. *Bot. Mag. [Tokyo]* 54: 178-185. [In Japanese. English summary, pp. 183-185.]
- Kihara H., Katayama, Y. (1932): On the progeny of haploid plants of *Triticum monococcum*. *Kwagau* 2: 408-410. [In Japanese, with German summary.]
- Li G., Boontung R., Powers C., Belamkar V., Huang T., Miao F., Baenziger P.S., Yan L. (2017): Genetic basis of the very short life cycle of ‘Apogee’ wheat. *BMC Genomics* 18:838. DOI 10.1186/s12864-017-4239-8
- Müntzing A. (1938): Note on heteroploid twin plants from eleven genera. *Hereditas* 24: 487-491.
- Smith L. (1946): Haploidy in einkorn. *Journal of Agricultural Research* 73: 291-301.
- Tamraz M., Al Ghossaini N., Temraz S. (2024): The Role of Wheatgrass in Colorectal Cancer: A Review of the Current Evidence. *Int. J. Mol. Sci.* 25, 5166. <https://doi.org/10.3390/ijms25105166>

