

MEZŐGAZDASÁGI BIOTECHNOLÓGIAI TUDOMÁNYOS BIZOTTSÁG

Összefoglaló

A hazai mezőgazdasági biotechnológiai kutatások célja a termesztett növények és haszonállatok nemesítésének támogatása, betegség és stressz ellenállóságuk fokozása, a kedvező tulajdonságú egyedek felszaporítása, illetve génbankokban való megőrzése, valamint a belőlük előállított élelmiszeripari alapanyagok minőségének, biztonságának fokozása. Ehhez kapcsolódva számos esetben került sor a faj- és fajtaazonosításban, valamint a nemesítésben használható molekuláris markerek kimunkálására és alkalmazására. Jelentős sikereket értek el hazai kutatók az állati embriológia és az in vitro megtermékenyítés területén, aminek eredményeként célpárosításokból származó kiváló genetikai képességekkel bíró egyedek jöttek létre. Genetikai módosítással olyan fokozott ellenanyag-termelésre képes nyúl vonalat állítottak elő, amelyre nemzetközileg jegyzett vállalkozást lehetett alapítani. Kutatóink a *német Hoechst A. G.-vel együttműködésben a kukorica génmódosítását megkönnyítő világszabadalmat jelentettek be, amelynek értékesítése lehetővé tette a világszerte nagy területen termesztett LibertyLink® kukorica hibridek előállítását. Egy ún. Haploid Szomaklón Nemesítési Módszer kidolgozása vezetett el az első hazai biotechnológiai eredetű növényfajta a 'Dáma' rizs előállításához, ami húsz éven keresztül a legnagyobb területen termesztett rizsfajta volt hazánkban. Több vírus rezisztens burgonya vonal előállítására is sor került, és jelentősek az eredmények a vírusdiagnosztikában is. Széles körben folyt a környezeti stressz toleranciát fokozó gének azonosítása és a tolerancia fokozásában való felhasználása. A növény-vírus kapcsolat kutatása vezetett el a géncsendesítés terén nemzetközileg úttörő eredményekhez. A modern genomikai kutatásokhoz kapcsolódva került sor hazánkban a gímszarvas, a mangalica és – nemzetközi együttműködésben – a búza genomszekvenciájának meghatározására. Emellett számos génbank jött létre a mikroalgáktól az ősi baromfifajtákig.*

Kulcsszavak

Betegség és stressz ellenállóság, biokontroll, biotechnológia, ellenanyag, embriológia, fagyállóság, fajtaazonosítás, génizolálás, génbank, genetikai módosítás, genomszekvencia, glutén érzékenység, haploid előállítás, in vitro megtermékenyítés, in vitro növényregeneráció, mikroszaporítás, molekuláris marker, nemzetközi szabadalom, növény-vírus kapcsolat, őshonos fajták, vírus rezisztencia.

A gödöllői **Mezőgazdasági Biotechnológiai Kutatóközpontban** (MBK) folyó állatbiotechnológiai kutatások eredményeként a világon elsőként határozták meg a gímszarvas [1] és az őshonos mangalica sertés [2] genomszekvenciáját. Az Eötvös Loránd Tudományegyetem (ELTE) kutatóival együttműködve olyan, fokozott ellenanyag termelésre képes nyúl vonalat hoztak létre [3,4], amire nemzetközi szabadalommal védett eljárást alapoztak [5]. Ezt az ImmunoGenes Kft. (<http://immunogenes.com>) hasznosítja azóta is. Ugyanitt a mézelő méh, gímszarvas, vaddisznó, házi sertés, házi nyúl faj-, alfaj- és fajtaazonosítására alkalmas molekuláris módszereket dolgoztak ki és baromfi ősvarsejt génbankot létesítettek régi magyar házityúk, gyöngytyúk, liba fajtákra alapozva [6]. Úttörő kutatásokat folytatva feltárták az RNS interferenciának (gén csendesítésnek) a növény-vírus kapcsolatban [7,8] és a növényi fejlődés szabályozásában [9] betöltött szerepét. Fontos eredményeket értek el a burgonyagumó kialakulásának molekuláris genetikai vizsgálatával és a burgonya biotechnológiai úton történő nemesítésével kapcsolatban is [10]. Molekuláris markerekkel körülhatároltak egy extrém vírusrezisztenciát biztosító gént, amelyre szelektálva a burgonya rezisztencianemesítése jelentős mértékben felgyorsítható. A MBK, az MTA ATK,

valamint a keszthelyi Burgonyakutatói Központ együttműködése eredményeként számos vírusellenálló transzgenikus burgonya növényt állítottak elő, amelyek szabadföldi kisparcellás kísérletekben is bizonyították ellenálló képességüket [11]. Létrehoztak uborka mozaik vírusnak ellenálló transzgenikus paprika és uborka növényeket is [12]. Új módszert dolgoztak ki vegetatívan szaporított fászszerűak (szőlő és csonthéjasok) vírusdiagnosztikájára [13]. Emellett dihaploid paprika vonalakat állítanak elő szolgáltatás szinten vetőmagtermesztő cégek megbízásából.

A Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományi Kutatóközpontja (MTA ATK) Mezőgazdasági Intézetének munkatársai 1995-ben áttörést értek el a búza fagyállóságának kutatásában: nemzetközi együttműködés keretében molekuláris markerekkel térképezték a búza fagyállóságát és virágzási idejét meghatározó géneket a búza 5A kromoszómáján [14]. Molekuláris markerek és génexpressziós vizsgálatok segítségével megállapították, hogy a búza fagyállóságát a *CBF*-gének határozzák meg [15]. Bizonyították a miRNS-ek részvételét a stressz válaszban fontos szerepet játszó redox szabályozó rendszerben [16].

Az ATK-ban folytatott kutatások jelentős eredményei közé sorolható, hogy világviszonylatban is elsők között mutatták ki gabonafélékben a mikroszpóra eredetű *in vitro* haploidok fejlődésének citoplazmában kódolt genetikai szabályozását [17]. Ugyancsak elsők között állítottak elő búzában és kukoricában reduplikált haploidokat közvetlenül a táptalajba adagolt kolchicin kezeléssel [18]. Ezek az ismeretek is hozzájárultak a dihaploid technikák sikeres alkalmazásához a hazai fajta előállító nemesítésben. Elsőként igazolták az intézetben a szalicilsavnak a kukorica hidegtűrésében betöltött szerepét [19,20]. Rámutattak a fény jelentőségére a növényi stressz válaszok során [21,22], valamint több abiotikus stressz faktor esetében bizonyították a poliaminok, mint jelátvivő molekulák részvételét a stressztűrés kialakulásában [23,24]. Az MTA ATK kutatói nemzetközi együttműködésben elsőként készítették el a kenyérbúza referencia-allergiaterképét úgy, hogy a búza genomjában meghatározták a glutén érzékenység, illetve a búzaallergia kialakulásáért felelős fehérjecsaldókhoz tartozó gének pontos számát és kromoszómapozícióját [25]. A tanulmány megvalósításához alapvetően járult hozzá, hogy magyar kutatói részvétellel elkészült a kenyérbúza referenciagenomja, vagyis sikerült teljességében feltárni a búza genetikai állományát [26]. Sikeresen alkalmazták az intézetben a két-szülős búzapopulációk marker kapcsoltság térképeit különböző betegség ellenállósági és minőségi tulajdonságok genetikai komponenseinek azonosítására, majd ezeket a genetikai komponenseket markerekre alapozott szelekcióval beépítették nemesítési anyagokba [27,28].

Az **MTA ATK Növényvédelmi Kutatóintézet** kutatói hazai és nemzetközi együttműködésben kiemelkedő eredményeket értek el a növények életkorának (juvenilitás, szenescencia) a növény-kórokozó kölcsönhatásban betöltött szerepével kapcsolatban [29,30]. Igazolták, hogy az öregedés gátlása fokozza a növények antioxidáns kapacitását, és ezzel ellenállóságát a szövetelhalást (nekrózist) okozó kórokozókkal és stresszekkel szemben [31–33].

Az **MTA Szegedi Biológiai Kutatóközpontjának Növénybiológiai Intézetében** úttörő kutatásokat folytattak a növényi sejtszétválás és *in vitro* növényregeneráció molekuláris szabályozó elemeinek azonosítása és jellemzése kapcsán [34,35]. *A Gabonakutató Intézettel (Szeged) és a német Hoechst AG-vel együttműködésben a kukorica génállományába történő génbeépítéssel kapcsolatos közös világszabadalmat hoztak létre [36–38]. A közös magyar-német szabadalmat megvásárolva kerültek előállításra a világszerte nagy területen termesztett LibertyLink® kukorica hibridek. A BASF adatai szerint a hibridek vetésterülete eddig több, mint 20,7 millió ha volt. A Solanum brevidens vad burgonyafaj több előnyös agronómiai tulajdonságát (levélsodródási és Y-vírus, Erwinia baktérium rezisztencia,*

hidegtűrés) sikerült beépíteniük a burgonya nemesítési tenyészanyagokba szomatikus sejthibridizációval, a Pannon Egyetem Burgonyakutatási Központjával együttműködésben [39]. Számos nemzetközi szabadalommal védett eljárást dolgoztak ki stressz (elsősorban szárazság) tűrő, illetve fokozott növekedési és termés jellemzőkkel bíró növények előállítására [40–42]. A kromoszómák számának megduplázásával olyan új poliploid rövid vágásfordulójú energiafűz fajtákat hoztak létre, melyek CO₂ megkötése és biomassza hozama megnövekedett [43]. A növények növekedésének és fiziológiai állapotának kvantitatív követésére kiépítettek egy komplex növényi stressz diagnosztikai rendszert [42]. Tevékenyen részt vettek a nemzetközi Arabidopsis inszerciós mutagenesis programokban [44]. Kidolgoztak egy új genetikai rendszert (Controlled cDNA Overexpression System), ami alkalmas eddig ismeretlen, a stressz válaszban szerepet játszó gének azonosítására [45]. Erre a szabadalmaztatott eljárásra alapozva több éves sikeres kutatási együttműködést folytattak a Bayer multinacionális vegyipari vállalattal. Egy másik kutatócsoportban új és hatékony, szabadalmaztatott eljárást dolgoztak ki algák hidrogén termelésének fokozására, ami által elérhetővé válhat az ipari mértékű H₂-termelés [46].

Az Eötvös Lóránd Tudományegyetem Növényélettani és Molekuláris Növénybiológiai Tanszékén, Magyarországon először állítottak elő, nemzetközi kooperációban, ehető vakcinát szövet-specifikus expresszióval rizsben [47]. Jelentős eredményeket értek el a búza tartalékfehérjéinek rizs modell rendszerben történő jellemzésével [48]. Együttműködésben az MTA ATK kutatóival azonosítottak a Bánkúti búzában több új tartalékfehérje gént és promoter régiót [49].

A Szent István Egyetem Kertészettudományi Karának munkatársai egy külföldön kezdett kutatást folytatva duplaszálú RNS-specifikus monoklonális ellenanyagokat állítottak elő [50], amelyek elvben bármely vírus kimutatására alkalmasak (51). Az ellenanyagokat egy hazai cég forgalmazza világszerte, használatukat 780 nemzetközi publikációban idézték és az mRNS-vakcinák minőségbiztosításában is alkalmazzák őket. A Mezőgazdaság- és Környezettudományi Karon újdonságnak számító Haploid Szomaklón Nemesítési Módszert dolgoztak ki [52]. A módszerrel állították elő Magyarországon az első biotechnológiai eredetű növényfajtát rizsben, a 'Dámát', ami 1992-ben állami elismerést (IV.2031./1992), később szabadalmi védelmet (000015/2003) kapott. A 'Dáma' 1992 és 2013 között 20 éven keresztül a legnagyobb területen termesztett rizsfajta volt hazánkban. Ezentúl, a Kárpát-medencében őshonos közel 100 szőlőfajtát mikroszatellit ujjlenyomattal jellemezték [53,54]. Az adatokból magyar Szőlő Mikroszatellit Adatbázist hoztak létre (<http://www.mkk.szie.hu/dep/gent>). Erre alapozva, markerekre alapozott szelekciót alkalmaztak szőlő lisztharmat és peronoszpóra-rezisztencia allélek azonosítására [55].

A Széchenyi István Egyetem (SZE) Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Karán az 1990-es évek elején francia és német támogatással létrehozták és fenntartják a mintegy ezer törzset számláló Mosonmagyaróvári Algagyűjteményt (MACC, <https://plantbio.sze.hu/macc>). Világviszonylatban elsők között javasolták mikroalgák alkalmazását a növényi növekedés és fejlődés kedvező befolyásolására és a termésbiztonság növelésére, továbbá növényvédelmi célokra [56,57]. 2020-21-ben kerülhetnek piacra tömegtermesztett értékes MACC-törzseik. A Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Karán baromfi fajok azonosítására alkalmas DNS alapú módszereket fejlesztettek [58] és biokontroll kutatási projekteket folytatnak [59]. A Debreceni Egyetem Agrárkutatóintézetek és Tangazdaság Nyíregyházi Kutatóintézetében hatékony *in vitro* mikroszaporítási technológiákat dolgoztak ki különböző lág-, és fásszárú növényfajokra [60]. Emellett *in vitro* eljárásokat

fejlesztettek ki és alkalmaztak különböző fajok genotípusainak gyors *in vitro* szelektálására különböző biotikus és abiotikus stresszekkel szemben [61,62].

Az **Állatorvostudományi Egyetem üllői Embrióátültető Állomásán** végzett kísérletek eredményeként születtek meg hazánkban az első bárányok *in vitro* termékenyített juh petesejtekből az 1990-es években [63]. Az Enyingi Zrt munkatársaival közös munkájuk eredményeként születtek meg ugyanekkor az első olyan lombikborjak, amelyek célpárosításból származtak. A petesejt donorok nagy teljesítményű, kiváló genetikai képességekkel bíró, valamilyen technikai okból (pl. betegség, sérülés stb.) selejtezett tehenek voltak és ivarsejtjeiket csúcs genetikájú bikák spermájával termékenyítették egy Petri csészében [64].

Az **Állatorvostudományi Egyetem Andrológiai és Asszisztált Reprodukciós Kutatócsoportja** és a Szent János Kórház Budai Meddőségi Centruma közti együttműködésben kialakított fagyasztási technológiával sikeresen mélyhűtöttek petesejteket, majd a felolvasztást és termékenyítést követően ezeket visszaültetve világrajöttek az első újszülöttek Magyarországon [65]. Ezzel hazánk a világon a 8. , Európában a 3. és Közép- és Kelet Európában az első ország volt, ahol fagyasztott petesejtből gyermekek születtek. Olasz kollegákkal együttműködésben (Aldo Moro Egyetem, Bari) vizsgálták, hogy a különböző mélyhűtési eljárások (lassú hűtés vs. vitrifikáció) hogyan hatnak az eltérő stádiumban lévő embriók belső struktúrájára. Megvizsgálva a reaktív oxigén gyökök mennyiségét, a mitokondriális működés minőségét, valamint a kromatin állomány paramétereit elmondható, hogy a jobb embrióminőséget produkáló eljárás a vitrifikáció, a megfelelő stádium pedig a blasztociszta [66].

Hivatkozások

- [1] Bana, N. Á., Nyiri, A., Nagy, J., Frank, K., Nagy, T., Stéger, V., Schiller, M., Lakatos, P., Sugár, L., Horn, P., Barta, E., Orosz, L. (2018): The red deer *Cervus elaphus* genome CerEla1.0: Sequencing, annotating, genes, and chromosomes. *Mol. Genet. Genomics* 293:665–684.
- [2] Molnár, J., Nagy, T., Stéger, V., Tóth, G., Marincs, F., Barta, E. (2014): Genome sequencing and analysis of mangalica, a fatty local pig of Hungary. *BMC Genomics* 15: 761. DOI: 10.1186/1471-2164-15-761.
- [3] Catunda Lemos, A. P., Cervenak, J., Bender, B., Hoffmann, O. I., Baranyi, M., Kerekes, A., Farkas, A., Bosze, Z., Hiripi, L., Kacskovics, I. (2012): Characterization of the rabbit neonatal Fc receptor (FcRn) and analyzing the immunophenotype of the transgenic rabbits that overexpresses FcRn. *PLoS One* 7: e28869. DOI: 10.1371/journal.pone.0028869.
- [4] Cervenak, J., Doleschall, M., Bender, B., Mayer, B., Schneider, Z., Doleschall, Z., Zhao, Y., Bösze, Z., Hammarström, L., Oster, W., Kacskovics, I. (2013): NFκB induces overexpression of bovine FcRn: A novel mechanism that further contributes to the enhanced immune response in genetically modified animals carrying extra copies of FcRn. *mAbs* 5: 860–871.
- [5] Bösze, Z., Kacskovics, I., Cervenak, J., Hiripi, L., Bender, B. (2009): *Transgenic animal with enhanced immune Response and method for the preparation thereof*. EP2097444A2, September 9, 2009. <https://patents.google.com/patent/EP2097444A2/un>
- [6] Molnár, M., Lázár, B., Sztán, N., Végi, B., Drobnyák, Á., Tóth, R., Liptói, K., Marosán, M., Gócza, E., Nandi, S., McGrew, M.J., Várkonyi, E.P. (2019): Investigation of the guinea fowl and domestic fowl hybrids as potential surrogate hosts for avian cryopreservation programmes. *Scientific Reports* 9:14284. DOI: 10.1038/s41598-019-50763-3.
- [7] Burgyán, J., Havelda, Z. (2011): Viral suppressors of RNA silencing. *Trends Plant Sci.* 16: 265–272.
- [8] Silhavy, D., Molnár, A., Lucioli, A., Szittyá, G., Hornyik, C., Tavazza, M., Burgyán, J. (2002): A viral protein suppresses RNA silencing and binds silencing-generated, 21- to 25-nucleotide double-stranded RNAs. *EMBO J.* 21:3070–3080.
- [9] Válóczy, A., Várallyay, E., Kauppinen, S., Burgyán, J., Havelda, Z. (2006): Spatio-temporal accumulation of microRNAs is highly coordinated in developing plant tissues. *Plant J.* 47: 140–151.
- [10] Stiller, I., Dulai, S., Kondrák, M., Tarnai, R., Szabó, L., Toldi, O., Bánfalvi, Z. (2008): Effects of drought on water content and photosynthetic parameters in potato plants expressing the trehalose-6-phosphate synthase gene of *Saccharomyces cerevisiae*. *Planta* 227: 299–308.
- [11] Bukovinszki, A., Divéki, Z., Csányi, M., Palkovics, L., Balázs, E. (2007): Engineering resistance to PVY in different potato cultivars in a marker-free transformation system using a “shooter mutant” *A. tumefaciens*. *Plant Cell Rep.* 26: 459–465.
- [12] Mihalka, V., Fari, M., Szasz, A., Balazs, E., Nagy, I. (2000): Optimized protocols for efficient plant regeneration and gene transfer in pepper (*Capsicum annuum* L.). *J. Plant Biotech.* 2: 143–149.
- [13] Czotter, N., Molnar, J., Szabó, E., Demian, E., Kontra, L., Baksa, I., Szittyá, G., Kocsis, L., Deak, T., Bisztray, G., Tusnady, G. E., Burgyan, J., Varallyay, E. (2018): NGS of virus-

derived small RNAs as a diagnostic method used to determine viromes of Hungarian vineyards. *Front. Microbiol.* 9: DOI: 10.3389/fmicb.2018.00122.

[14] Galiba, G., Quarrie, S. A., Sutka, J., Morgounov, A., Snape, J. W. (1995): RFLP mapping of the vernalization (Vrn1) and frost resistance (Fr1) genes on chromosome 5A of wheat. *Theor. Appl. Genet.* 90: 1174–1179.

[15] Vágújfalvi, A., Galiba, G., Cattivelli, L., Dubcovsky, J. (2003): The cold-regulated transcriptional activator Cbf3 is linked to the frost-tolerance locus Fr-A2 on wheat chromosome 5A. *Mol. Genet. Genomics* 269:60–67.

[16] Cao, J., Gulyás, Z., Kalapos, B., Boldizsár, Á., Liu, X., Pál, M., Yao, Y., Galiba, G., Kocsy, G. (2019): Identification of a redox-dependent regulatory network of miRNAs and their targets in wheat. *J. Exp. Bot.* 70: 85–99.

[17] Sági, L., Barnabás, B. (1989): Evidence for cytoplasmic control of in vitro microspore embryogenesis in the anther culture of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theor. Appl. Genet.* 78: 867–872.

[18] Barnabás, B., Pfahler, P. L., Kovács, G. (1991): Direct effect of colchicine on the microspore embryogenesis to produce dihaploid plants in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theor. Appl. Genet.* 81: 675–678.

[19] Janda, T., Szalai, G., Tari, I., Páldi, E. (1999): Hydroponic treatment with salicylic acid decreases the effects of chilling injury in maize (*Zea mays* L.) plants. *Planta* 208: 175–180.

[20] Janda, T., Szalai, G., Rios-Gonzalez, K., Veisz, O., Páldi, E. (2003): Comparative study of frost tolerance and antioxidant activity in cereals. *Plant Sci.* 164: 301–306.

[21] Majláth, I., Darko, E., Palla, B., Nagy, Z., Janda, T., Szalai, G. (2016): Reduced light and moderate water deficiency sustain nitrogen assimilation and sucrose degradation at low temperature in durum wheat. *J. Plant Physiol.* 191: 149–158.

[22] Novák, A., Boldizsár, Á., Ádám, É., Kozma-Bognár, L., Majláth, I., Bága, M., Tóth, B., Chibbar, R., Galiba, G. (2016): Light-quality and temperature-dependent CBF14 gene expression modulates freezing tolerance in cereals. *J. Exp. Bot.* 67: 1285–1295.

[23] Pál, M., Tajti, J., Szalai, G., Peeva, V., Végh, B., Janda, T. (2018): Interaction of polyamines, abscisic acid and proline under osmotic stress in the leaves of wheat plants. *Scientific Reports* 8: 12839. DOI: 10.1038/s41598-018-31297-6.

[24] Pál, M., Csávás, G., Szalai, G., Oláh, T., Khalil, R., Yordanova, R., Gell, G., Birinyi, Z., Németh, E., Janda, T. (2017): Polyamines may influence phytochelatin synthesis during Cd stress in rice. *J. Hazard. Mater.* 340: 272–280.

[25] Juhász, A., Belova, T., Florides, C. G., Maulis, C., Fischer, I., Gell, G., Birinyi, Z., Ong, J., Keeble-Gagnère, G., Maharajan, A., Ma, W., Gibson, P., Jia, J., Lang, D., Mayer, K. F. X., Spannagl, M. (2018): International wheat genome sequencing consortium, Tye-Din, J. A., Appels, R., Olsen, O.-A. genome mapping of seed-borne allergens and immuno responsive proteins in wheat. *Sci. Adv.* 4: eaar8602. DOI: 10.1126/sciadv.aar8602.

[26] International Wheat Genome Sequencing Consortium (IWGSC) (2018): Shifting the limits in wheat research and breeding using a fully annotated reference genome. *Science* 361: 6403. DOI: 10.1126/science.aar7191.

- [27] Vida, G., Gál, M., Uhrin, A., Veisz, O., Syed, N. H., Flavell, A. J., Wang, Z., Bedő, Z. (2009): Molecular markers for the identification of resistance genes and marker-assisted selection in breeding wheat for leaf rust resistance. *Euphytica* 170: 67–76.
- [28] Karsai, I., Szucs, P., Mészáros, K., Filichkina, T., Hayes, P. M., Skinner, J. S., Láng, L., Bedo, Z. (2005): The Vrn-H2 locus is a major determinant of flowering time in a facultative x winter growth habit barley (*Hordeum vulgare* L.) mapping population. *Theor. Appl. Genet.* 110: 1458–1466.
- [29] Barna, B., Györgyi, B. (1992): Resistance of young versus old tobacco leaves to necrotrophs, fusaric acid, cell wall-degrading enzymes and autolysis of membrane lipids. *Phys. Mol. Plant Pathol.* 40:247–257.
- [30] Pogány, M., Koehl, J., Heiser, I., Elstner, E. F., Barna, B. (2004): Juvenility of tobacco induced by cytokinin gene introduction decreases susceptibility to tobacco necrosis virus and confers tolerance to oxidative stress. *Phys. Mol. Plant Pathol.* 65: 39–47.
- [31] Barna, B., Gémes, K., Domoki, M., Bernula, D., Ferenc, G., Bálint, B., Nagy, I., Fehér, A. (2018): Arabidopsis NAP-related proteins (NRPs) contribute to the coordination of plant growth, developmental rate, and age-related pathogen resistance under short days. *Plant Sci.* 267: 124–134.
- [32] Harrach, B. D., Baltruschat, H., Barna, B., Fodor, J., Kogel, K.-H. (2013): The mutualistic fungus *Piriformospora indica* protects barley roots from a loss of antioxidant capacity caused by the necrotrophic pathogen *Fusarium culmorum*. *Mol. Plant Microbe Interact.* 26: 599–605.
- [33] Barna, B., Fodor, J., Harrach, B. D., Pogány, M., Király, Z. (2012): The Janus face of reactive oxygen species in resistance and susceptibility of plants to necrotrophic and biotrophic pathogens. *Plant Physiol. Biochem.* 59: 37–43.
- [34] Hirt, H., Páy, A., Györgyey, J., Bakó, L., Németh, K., Bögre, L., Schweyen, R. J., Heberle-Bors, E., Dudits, D. (1991): Complementation of a yeast cell cycle mutant by an alfalfa CDNA encoding a protein kinase homologous to P34cdc2. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 88: 1636–1640.
- [35] Magyar, Z., Mészáros, T., Miskolczi, P., Deák, M., Fehér, A., Brown, S., Kondorosi, E., Athanasiadis, A., Pongor, S., Bilgin, M., Bakó, L., Koncz, C., Dudits, D. (1997): Cell cycle phase specificity of putative cyclin-dependent kinase variants in synchronized alfalfa cells. *Plant Cell* 9: 223–235.
- [36] Dudits D., Mórocz S., Németh J., Donn G. (1997): *Zea mays* (L.) with capability of long term, highly efficient plant regeneration including fertile transgenic maize plants having a heterologous gene, and their preparation. July 21, 1997. <http://europepmc.org/patents/PAT/US6284945>
- [37] Golovkin, M. V., Ábrahám, M., Mórocz, S., Bottka, S., Fehér, A., Dudits, D. (1993): Production of transgenic maize plants by direct DNA uptake into embryogenic protoplasts. *Plant Sci* 90: 41–52.
- [38] Mórocz, S., Donn, G., Nérneth, J., Dudits, D. (1990): An improved system to obtain fertile regenerants via maize protoplasts isolated from a highly embryogenic suspension culture. *Theor. Appl. Genet.* 80: 721–726.

- [39] Preiszner, J., Fehér, A., Veisz, O., Sutka, J., Dudits, D. (1991): Characterization of morphological variation and cold resistance in interspecific somatic hybrids between potato (*Solanum tuberosum* L.) and *S. brevidens* Phil. *Euphytica* 57: 37–49.
- [40] Oberschall, A. (2000): A novel aldose/aldehyde reductase protects transgenic plants against lipid peroxidation under chemical and drought stresses. *Plant J.* 24: 437–446.
- [41] Deák, M., Horváth, G. V., Davletova, S., Török, K., Sass, L., Vass, I., Barna, B., Király, Z., Dudits, D. (1999): Plants ectopically expressing the iron-binding protein, ferritin, are tolerant to oxidative damage and pathogens. *Nat. Biotechnol* 17: 192–196.
- [42] Fehér-Juhász, E., Majer, P., Sass, L., Lantos, C., Csiszár, J., Turóczy, Z., Mihály, R., Mai, A., Horváth, G. V., Vass, I., Dudits, D., Pauk, J. (2014): Phenotyping shows improved physiological traits and seed yield of transgenic wheat plants expressing the alfalfa aldose reductase under permanent drought stress. *Acta Physiol. Plant.* 36: 663–673.
- [43] Dudits, D., Török, K., Cseri, A., Paul, K., Nagy, A. V., Nagy, B., Sass, L., Ferenc, G., Vankova, R., Dobrev, P., Vass, I., Ayaydin, F. (2016): Response of organ structure and physiology to autotetraploidization in early development of energy willow *Salix viminalis*. *Plant Physiol.* 170: 1504–1523.
- [44] Szabados, L., Kovács, I., Oberschall, A., Abrahám, E., Kerekes, I., Zsigmond, L., Nagy, R., Alvarado, M., Krasovskaja, I., Gál, M., Berente, A., Rédei, G. P., Haim, A. B., Koncz, C. (2002): Distribution of 1000 sequenced T-DNA tags in the *Arabidopsis* genome. *Plant J.* 32: 233–242.
- [45] Papdi, C., Abrahám, E., Joseph, M. P., Popescu, C., Koncz, C., Szabados, L. (2008): Functional identification of *Arabidopsis* stress regulatory genes using the controlled CDNA overexpression system. *Plant Physiol.* 147: 528–542.
- [46] Nagy V., Tóth, S. Z. (2017): *Photoautotrophic and sustainable production of hydrogen in algae*. EP 3360968 A1, February 8, 2017. <https://lens.org/158-025-127-395-507>
- [47] Oszvald, M., Kang, T.-J., Tomoskozi, S., Tamas, C., Tamas, L., Kim, T.-G., Yang, M.-S. (2007): Expression of a synthetic neutralizing epitope of porcine epidemic diarrhea virus fused with synthetic B subunit of *Escherichia coli* heat labile enterotoxin in rice endosperm. *Mol. Biotechnol.* 35: 215–223.
- [48] Oszvald, M., Balázs, G., Pólya, S., Tömösközi, S., Appels, R., Békés, F., Tamás, L. (2013): Wheat storage proteins in transgenic rice endosperm. *J. Agric. Food. Chem.* 61: 7606–7614.
- [49] Juhász, A., Larroque, O. R., Tamás, L., Hsam, S. L. K., Zeller, F. J., Békés, F., Bedo, Z. (2003): Bánkúti 1201-an old Hungarian wheat variety with special storage protein composition. *Theor. Appl. Genet.* 107: 697–704.
- [50] Richter, A., Oberstass, J., Lukacs, N. (1991): Characterization of monoclonal-antibodies recognizing dsRNA-structure. *Biol. Chem. Hoppe-Seyler* 372: 736–736.
- [51] Lukács, N. (1994): Detection of virus infection in plants and differentiation between coexisting viruses by monoclonal antibodies to double-stranded RNA. *J. Virol. Methods* 47: 255–272.
- [52] Heszky, L. E., Li, S. N., Simon, I. K., Kiss, E., Lökös, K., Do, Q. B. (1991): In vitro studies on rice in Hungary. In: Bajaj, Y.P.S. (ed.): *Rice. Biotechnology in Agriculture and Forestry*, Springer, Berlin, Heidelberg, pp 619–641.

- [53] Galbács, Z., Molnár, S., Halász, G., Kozma, P., Hoffmann, S., Kovacs, L., Veres, A., Galli, Z., Szőke, A., Heszky, L., Kiss, E. (2009): Identification of grapevine cultivars using microsatellite-based DNA barcodes. *Vitis* 48: DOI: 10.5073/vitis.2009.48.17-24.
- [54] Halász, G., Veres, A., Kozma, P., Kiss, E., Balogh, A., Galli, Z., Szőke, A., Hoffmann, S., Heszky, L. (2005): Microsatellite fingerprinting of grapevine (*Vitis vinifera* L.) varieties of the Carpathian basin. *Vitis* 44: 173–180.
- [55] Katula-Debreceni, D., Lencsés, A. K., Szőke, A., Veres, A., Hoffmann, S., Kozma, P., Kovács, L. G., Heszky, L., Kiss, E. (2010): Marker-assisted selection for two dominant powdery mildew resistance genes introgressed into a hybrid grape population. *Sci. Hort.* 126: 448–453.
- [56] Takács, G., Stirk, W. A., Gergely, I., Molnár, Z., van Staden, J., Ördög, V. (2019): Biostimulating effects of the cyanobacterium *Nostoc piscinale* on winter wheat in field experiments. *S. Afr. J. Bot.* 126: 99–106.
- [57] Tóth, J., Gergely, I., Berzsényi, Z., Ördög, V. (2019): Influence of *Nostoc entophyllum* and *Tetracystis* sp. on winter survival of rapeseed. *J. Agr. Sci. Tech. B9*: DOI: 10.17265/2161-6264/2019.04.004.
- [58] Tisza, Á., Csikós, Á., Simon, Á., Gulyás, G., Jávör, A., Czeglédi, L. (2016): Identification of poultry species using polymerase chain reaction-single strand conformation polymorphism (PCR-SSCP) and capillary electrophoresis-single strand conformation polymorphism (CE-SSCP) methods. *Food Contr.* 59: 430–438.
- [59] Pusztahelyi, T., Holb, I. J., Pócsi, I. (2015): Secondary metabolites in fungus-plant interactions. *Front. Plant Sci.* 6: DOI: 10.3389/fpls.2015.00573.
- [60] Dobránszki J. (2016): A megye mikroszaporítása. In: Nyéki J., Szabó T., Soltész M. (eds.): *Megye: A jövedelmező intenzív termesztés alapjaival*. Újfehértói Gyümölcsstermesztési Kutató és Szaktanácsadó Nonprofit Közhasznú Kft., Újfehértó, pp 111–118.
- [61] Hudák, I., Hevesi, M., Dobránszki, J., Magyar-Tábori, K. (2009): In vitro tests of resistance to soft rot erwiniae on potato tubers. *Acta Hort.* 812: 103–106.
- [62] Magyar-Tábori, K., Mendlér-Drienyovszki, N., Dobránszki, J. (2011): Models and tools for studying drought stress responses in peas. *OMICs* 15: 829–838.
- [63] Cseh, S., Treuer, Á., Besenfelder, U., Brem, G., Bényei, B., Seregi, J. (1995): In vitro fertilizációval (IVF) előállított juhembriók sikeres átültetése. *Magy. Állatorv. Lapja* 50: 839–841.
- [64] Seregi, J., Treuer, Á., Cseh, S. (1994): In vitro fertilizációval (IVF) előállított, mélyhűtött szarvasmarha-embriók sikeres átültetése. *Magy. Állatorv. Lapja* 49: 523–525.
- [65] Konc, J., Kanyo, K., Varga, E., Kriston, R., Cseh, S. (2008): Oocyte cryopreservation: The birth of the first Hungarian babies from frozen oocytes. *J. Assist. Reprod. Genet.* 25: 349–352.
- [66] Martino, N. A., Dell’Aquila, M. E., Cardone, R. A., Somoskoi, B., Lacalandra, G. M., Cseh, S. (2013): Vitrification preserves chromatin integrity, bioenergy potential and oxidative parameters in mouse embryos. *Reprod. Biol. Endocrinol.* 11: 27. DOI: 10.1186/1477-7827-11-27.