

Portoktenyésztéssel előállított tetraploid genotípusok összehasonlító vizsgálata

¹SZÉKELY ÁRPÁD - ¹SZALÓKI TÍMEA - ²PAUK JÁNOS -
²LANTOS CSABA - ¹JANCSÓ MIHÁLY
¹MATE Környezettudományi Intézet
Öntözési és Vízgazdálkodási Kutatóközpont, Szarvas
²Gabonakutató Non-profit Kft., Szeged

Összefoglalás

A növénynemesítés a gyorsabb fajtaelállítás érdekében androgenezissel előállított dihaploidokat használ fel. A rizs dihaploid növények előállítása során kis százalékban autotetraploidok is keletkeznek. A cikk ezen tetraploidok mikroparcellás szántóföldi vizsgálatát mutatja be. A kísérlet során 6-6 diploid-tetraploid párt használtunk fel, amelyek három különböző kombinációból származnak. A fenológiai adatokon kívül (kelés, magasság, fejlődési állapot BBCH skálán) a terméskomponensek (bugahossz, fertilis szemszám, üres szemek száma, fertilitás) és a termőképesség is meghatározásra kerültek. A tetraploidok egyenletes, vegetatív fejlődése nem különbözött a diploidoktól. A reprodukciós fázis elnyúlásával azonban hosszabb tenyészidővel rendelkeznek. A legkisebb időbeli késés a 1087/8/35T vonal esetében volt megfigyelhető, amivel az egyik legrövidebb tenyészidejű tetraploid vonal lett. Ezen kívül a legtöbb ép szemet ez a genotípus tartalmazta, és alacsony steril szemmel a fertilitása a legmagasabb (~60%). Ez az érték igen előremutatónak mondható, hiszen a hagyományos tetraploid vonalak fertilitása az 50%-os, míg a legújabb neo-tetraploid és PMeS vonalak fertilitása a 68-80%-os sávban mozognak. A kísérletek bővítésével remélhetőleg ezekhez közelebbi vonalak azonosítására is sor kerül.

Kulcsszavak: androgenezis, autotetraploid, fertilitás, poliploidia, rizs

Comparative analyses of tetraploid genotypes produced by androgenesis

¹Á. SZÉKELY – ¹T. SZALÓKI – ²J. PAUK – ²CS. LANTOS – ¹M. JANCSÓ

¹Hungarian University of Agriculture and Life Sciences

Institute of Environmental Sciences

Research Centre for Irrigation and Water Management, Szarvas

²Cereal Research Non-profit Company, Szeged

Summary

Plant breeding uses androgenesis-derived dihaploids for faster breeding. A small percentage of autotetraploids are also produced during the production of dihaploids. This paper presents a microplot field study of these tetraploids. The experiment used 6–6 diploid-tetraploid pairs, which are the results of three different combinations. In addition to phenological data (emergence, plant height, developmental stage on BBCH scale), yield and its components (panicle length, number of filled grains, number of unfilled grains, fertility) were also determined. The uniform vegetative development of tetraploids did not differ from that of diploids. However, they have a longer cropping period due to the prolongation of the reproductive phase. The least time delay was observed in line of 1087/8/35T, making it one of the shortest growing time tetraploid lines. In addition, this genotype has the highest number of filled grains and the second lowest unfilled grains, causing a very high fertility (~60%). This value is very encouraging, as conventional tetraploid lines have a fertility of 50%, while the new neo-tetraploid and PMeS lines have fertility in the range of 68–80%. With the expansion of experiments, hopefully, the genotypes with higher fertility will be identified.

Keywords: androgenesis, autotetraploid, fertility, polyploids, rice

Bevezetés

A rizs (*Oryza sativa* L.) a világ három legfontosabb élelmiszernövényének egyike. A növekvő világnépesség és a rendelkezésre álló termőföldek

csökkenése miatt a rizs hozamának növelése kiemelt fontosságú. Most ez a kihívás még nagyobbá válik a gyors éghajlati változások miatt, amelyek újabb hatalmas fenyegetést jelentenek a mezőgazdaságra és az élelmezésbiztonságra. Ezért sürgősen szükség van új, nagy hozamú rizsfajták nemesítésére, amelyek ellenállóbbak az éghajlati változékonysággal szemben (*Wheeler és von Braun* 2013). A poliploidizáció lehet az egyik megoldás, ami segíthet e problémakör megoldásában. A poliploidizáció a növényi evolúció egyik lehetséges útja. Minden virágos növény evolúciós története során legalább egy poliploidizációs eseményt átélt (*Jiao et al.* 2011). A poliploid növényeket nagy méret, magas tápanyag ellátottság és aktívabb másodlagos anyagcsere folyamatok jellemzik. Emellett erős vitalitással és alkalmazkodó képességgel, szárazság- és hidegtoleranciával és egyéb előnyökkel rendelkeznek (*Van de Peer et al.* 2017). A nagyobb stressztűrő képességet a lassabb fejlődés, a késleltetett szaporodás, a hosszabb élettartam, a nagyobb magvak és az erőteljesebb vegetatív szaporodás erély révén érik el (*Hilu* 1993). Ezért a poliploid technológia széles körben kutatott a növénynemesítésben, különösen a vegetatív szervek és a teljes biomassza növelésére fókuszálnak a kutatások. A poliploid növényekkel (például a búzával) összehasonlítva a rizs genomja kisebb és DNS-tartalma alacsonyabb. A termesztett diploid rizs genetikai erőforrásai korlátozottak (*Chen et al.* 2021), ezért a rizsnemesítés további fejlődése korlátokba ütközik (*Wang et al.* 2022). A diploid rizshez képest a poliploid rizs számos előnyös agronómiai tulajdonságokkal is rendelkezik (*Shahid et al.* 2011, 2012), mint például a nagy szemméret, a nagy ezerszemtömeg és az erős szár. Azonban a sok szempontból kiemelkedő tulajdonságai ellenére a felfedezését követően (*Nakamori* 1933) sokáig feledésbe merült. Ennek elsődleges oka az alacsony fertilitás. A tetraploidok általános morfológiáját 1955-ben *Oka* írta le (*1. táblázat*).

Részletes agronómiai jellemzőit 1992-ben *Song* és munkatársai publikálták (*Song et al.* 2007). A már jól ismert tulajdonságokon kívül megnövekedett fehérje- és aminosav-, valamint csökkent amilóztartalmat észleltek. Az igazi áttörést 2007-ben érték el, amikor poliploid meiózis stabil (PMeS) vonalakat azonosítottak *indica x japonica* alfajok keresztezésből (*Cai et al.* 2007). Más autotetraploid rizsvonalakkal ellentétben a PMeS vonalak nem mutattak rendellenes kromoszómális viselkedést a meiózis során. A hagyományos autotetraploidokkal ellentétben pollenfejlődési mintázata minden szakaszban

normálisnak tekinthető (He et al. 2010). A későbbiekben előállított, magas mag- és pollentermékenységű autotetraploid rizsfajtát Guo és munkatársai Neo-Tetraploid vonalaknak nevezték el (Guo et al. 2017). Ezek a vonalak szintén *indica x japonica* keresztezésből származnak. Az *indica* és *japonica* közötti heterózis kihasználása fontos új megközelítés a rizsnemesítésben. Vizsgálatok kimutatták, hogy az *indica* és *japonica* közötti heterózis sokkal nagyobb, mint az *indica*-n vagy *japonica*-n belüli heterózis. Hiszen a két alfaj között jelentős különbségek vannak a genom méretét, a génszámot és a génkategóriákat illetően (Liu et al. 2007). Diploid körülmények között ez nemcsak a meiózis során történő normális kromoszómapárosítást befolyásolja, hanem az egyes fejlődési szakaszokban történő génexpressziót is, ami megnehezíti az *indica-japonica* hibridek felhasználását. Tetraploid körülmények között azonban ez az egyensúlyhiány kiküszöbölhető, ami elősegíti a két csoport közötti heterózhathatás kihasználását (Song et al. 2007).

1. táblázat. A tetraploid rizsvonalak morfológiai jellemzői

Morfológiai karakter (1)	A tetraploidok jellemzői (2)
Bugahossz (3)	Megnövekedett (10) (0,95-1,30)
Szemhossz (4)	Megnövekedett (10) (0,95-1,30)
Szálka (5)	Fejlett (11)
Buga oldalágak (6)	Csökkent (12) (0,50-0,90)
Növényenkénti bugaszám (7)	Csökkent (12) (0,40-0,70)
Fertilitás (8)	0-55%
Pollen fertilitás (9)	55-95%

Megjegyzés: *Oka* (1955) nyomán. A zárójelben lévő számok a tetraploidok fenotípusértékének arányát jelzik a diploidokhoz képest.

Table 1. Morphological characteristics of tetraploid rice lines. (1) Morphological character, (2) Tetraploid characteristics, (3) Flower length, (4) Grain length, (5) Flower, (6) Flower branches, (7) Flowers per plant, (8) Fertility, (9) Pollen fertility, (10) Increased, (11) Developed, (12) Reduced, Note: Based on *Oka* (1955). Numbers in parentheses indicate the ratio of the phenotypic value of tetraploids to diploids.

A poliploidia mesterséges kiváltása fizikai, biológiai és kémiai indukcióval is lehetséges. A fizikai indukció során hőmérsékleti sokk vagy ionizáló sugárzás is poliploidok kialakulásához vezethet. A fizikai indukciós módszert

azonban alacsony hatékonysága miatt nem használják széles körben. Jelenleg a kémiai indukció a mesterséges poliploid előállítás legszélesebb körben alkalmazott módszere. Az általánosan alkalmazott kémiai mutagének a kolhicin, oryzalin, trifluralin, naftalin-pentán, valamint a naftalin-etán, amelyek közül a kolhicin a leggyakrabban használt. A poliploidia hagyományos kémiai indukciója a magoncok, rügyek vagy porzók kolhicinnel való áztatása (*Oka* 1955), hatékonysága azonban nagyon alacsony, és gyakran kimérák jönnek létre. A szövettenyésztési technológiák fejlődésével a kolhicint dihaploid növények előállítására is felhasználják. Szegeden a Gabonakutató Nonprofit Kft.-ben a dihaploidok előállítása portok kultúrából történik. Mivel az izolált porzók néha szennyeződnek a porzófali szövetektől, illetve nagyon gyakori a spontán kromoszóma duplikációs esemény a kifejlődött kalluszok vegyes ploidia fokúak lehetnek, például haploidok, diploidok mixoploidok és tetraploidok (*Dunwell* 2010). A tanulmány célja ezen tetraploid vonalak értékelése, összehasonlítása a nemzetközi irodalomban fellelhető genotípusokkal, különös tekintettel a fertilitásra.

Anyag és módszer

Ebben a tanulmányban a különböző keresztezési kombinációból származó hat tetraploid nemesítési vonal fejlődési és termés meghatározó paramétereit követtük nyomon a MATE ÖVKI Galambosi Rizskísérleti Telepén (Szarvas) 2022-ben, és hasonlítottuk össze az azonos eredetű diploidokkal. A kísérletben felhasznált vonalak kromoszómaszerelvény számát flow citometriás módszerrel határoztuk meg (*Lantos et al.* 2022). A felhasznált genotípusokat és a keresztezési kombinációkat a 2. táblázat tartalmazza. A vetés 2022. 05. 10-én történt háromsoros mikroparcellákban. Ezt követően a növények normál üzemi tápanyag- és vízellátást, valamint gyomirtást kaptak.

A tenyészidő során fenológiai paramétereket rögzítettünk a 3. táblázat szerinti ütemezésben. A megfigyeléseket a teljes tenyészidő alatt egy személy végezte el. A növények fejlettségét BBCH-skála szerint értékeltük (*Lancashire et al.* 1991), a parcella átlagára vonatkoztatva.

2. táblázat. A felhasznált genotípusok kódjai és keresztezési kombinációjuk

Kombináció (1)	Tetraploid (2)	Diploid (3)
Marilla × IRAT 109	1080/10/26T	1080/10/26D
Dáma × Nembo	1083/22/26T	1083/22/26D
	1083/21/29T	1083/21/29D
Dáma × IRAT 109	1087/8/35T	1087/8/35D
	1087/1/8T	1087/1/8D
	1087/2/53T	1087/2/53D

Megjegyzés: a kódban a T és a D a ploidfokot jelenti. Minden egyes diploid vonal a már előzetesen tetraploidnak azonosított genotípusokból származik.

Table 2. Codes of the genotypes used and their cross combination. (1) Combination, (2) Tetraploid, (3) Diploid, Note: in the code, T and D stand for ploidy level. Each diploid line is derived from genotypes previously identified as tetraploid.

3. táblázat. A tenyésztő alatt elvégzett növekedési/fejlődési paraméterek rögzítési ideje

	Dátum (hónap, nap) (1)					
Kelés sikeressége (2)	05. 25.					
Keléskori tőszám (3)	06. 02.					
Magasság (4)	06. 02.	06. 24.	09. 14.			
B BCH	06. 02.	06. 24.	07. 25.	08. 01.	08. 08.	08. 24.

Table 3. Recording time of the growth/development parameters carried out during the growing season. (1) Date (month, day), (2) Success of emergence, (3) Plant density at the time of emergence, (4) Height

A teljes tenyésztő alatt a növényeket egyéb stressz nem érte (1. ábra). A statisztikai elemzésekhez 10 ismétlésszámot használtunk, a kromoszómaszerelvény kettőződés és a genotípus hatását kéttényezős varianciaanalízissel állapítottuk meg.

1. ábra. Tetraploid (bal oldal) és diploid (jobb oldal) nemesítési vonal a szarvasi rizskalitkában 2022-ben



Forrás: saját fotó

Figure 1. Tetraploid (left) and diploid (right) breeding lines in the Szarvas rice field in 2022.
Source: own image

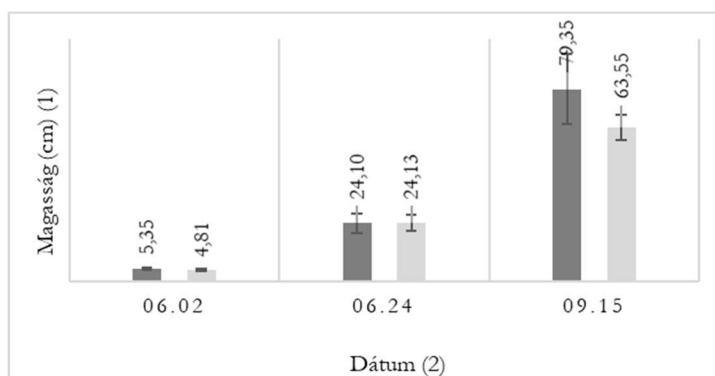
Eredmények

A tenyésztő első felvételezésekor (05. 25.) sikeres kelést tapasztaltunk minden genotípus esetében. A tőszám a diploidok esetében $67,5\% \pm 7,8$ volt, míg a tetraploidok esetében ennek mindösszesen a fele $34,3\% \pm 6,0$ ($F(1,13)=25,163$; $p<0,001$). A korai fejlődés mindkét ploidia fokon egyforma, azonban a tenyésztőszak végére a tetraploidok magassága szignifikánsan elmarad a diploidoktól; $F(1,38)=21,416$; $p<0,001$) (2. ábra).

A korai fejlődés után a $2n$ és $4n$ -es vonalak szétválása a reprodukciós fázis elején kezdődik el. Méréseink szerint a 40-es BBCH értékig a tetraploid és diploid vonalak hasonló mértékben fejlődnek, utána viszont a tetraploidok elnyújtott reprodukciós fázissal lemaradnak a diploidokhoz képest (3. ábra).

Ami a termésösszetevőket illeti, a tetraploidokra kevesebb telt szem, viszont több steril, üres szem jellemző, emiatt alacsonyabb fertilitást tapasztalunk, és alacsonyabb termés is várható (4. ábra).

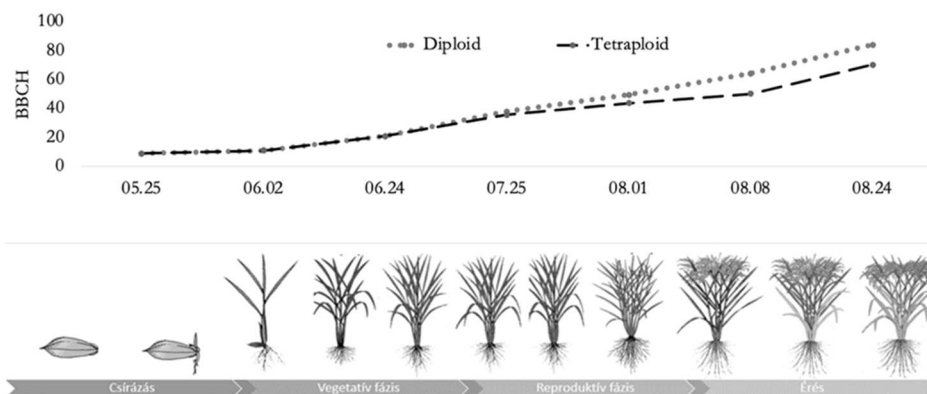
2. ábra. A különböző ploiditású vonalak magassága három különböző időpontban



Megjegyzés: a *-gal jelölt érték szignifikáns különbséget jelent a 2n és 4n kromoszómaszerelvényű vonalak között.

Figure 2. Heights of lines with different ploidy at three different times (1) Height (cm), (2) Date, Note: the value marked with * indicates a significant difference between lines with chromosome mass fractions 2n and 4n.

3. ábra. A diploid és tetraploid vonalak BBCH skálán mért fejlődési üteme hét különböző időpontban



Forrás: *Net1*

Figure 3. Developmental rates of diploid and tetraploid lines measured on the BBCH scale at seven different time points. Source: *Net1*

4. ábra. A termésmennyiséget meghatározó paraméterek
(üres szem, teltszem, fertilitás, termés)
különbözősége diploid és tetraploid vonalakon

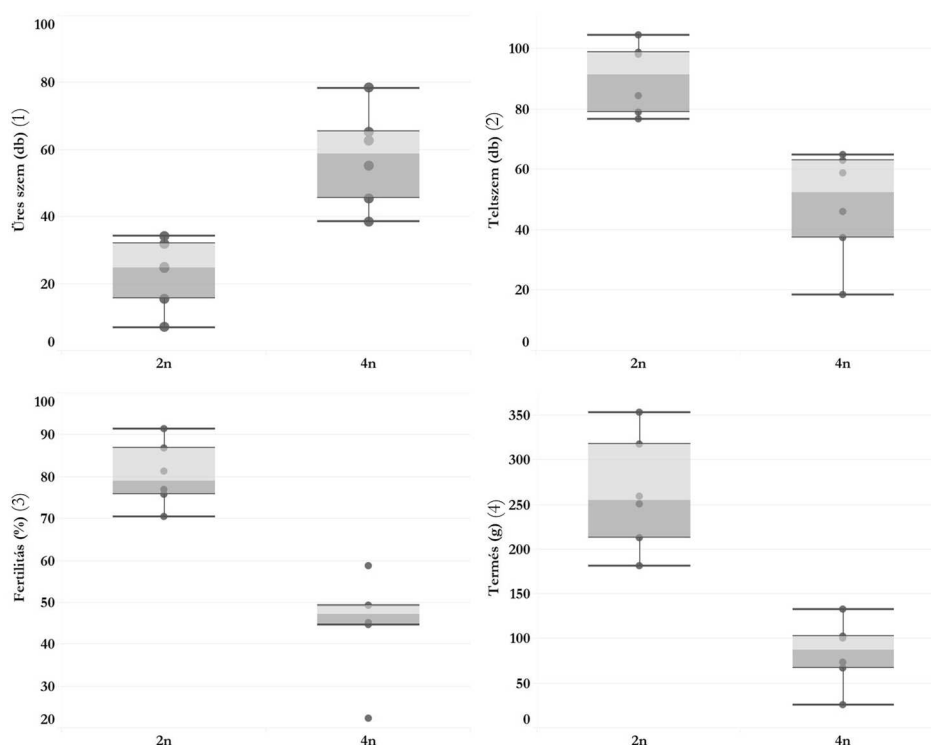


Figure 4. Differences in parameters determining yield (filled grain, empty grain, fertility, yield) in diploid and tetraploid lines. (1) Number of empty grains, (2) Number of filled grains, (3) Fertility (%), (4) Yield (g)

Az egyes paramétereknél a genotípus és a ploidfok hatásának kimutatására kéttényezős varianciaanalízist használtunk. Minden paraméter esetében a genotípus hatás nem, viszont a ploidfok, valamint a kettő közötti interakció szignifikáns. Ezt támasztja alá a főkomponens analízis is (5. ábra), ahol a 3. komponens mentén szétválnak a diploid és tetraploid vonalak, de nem figyelhető meg a keresztezési kombinációk szétválása.

5. ábra. A különböző ploidyfokú ($2n=D$, $4n=T$) genotípusok főkomponens analízise az összes meghatározott terméskomponensek alapján

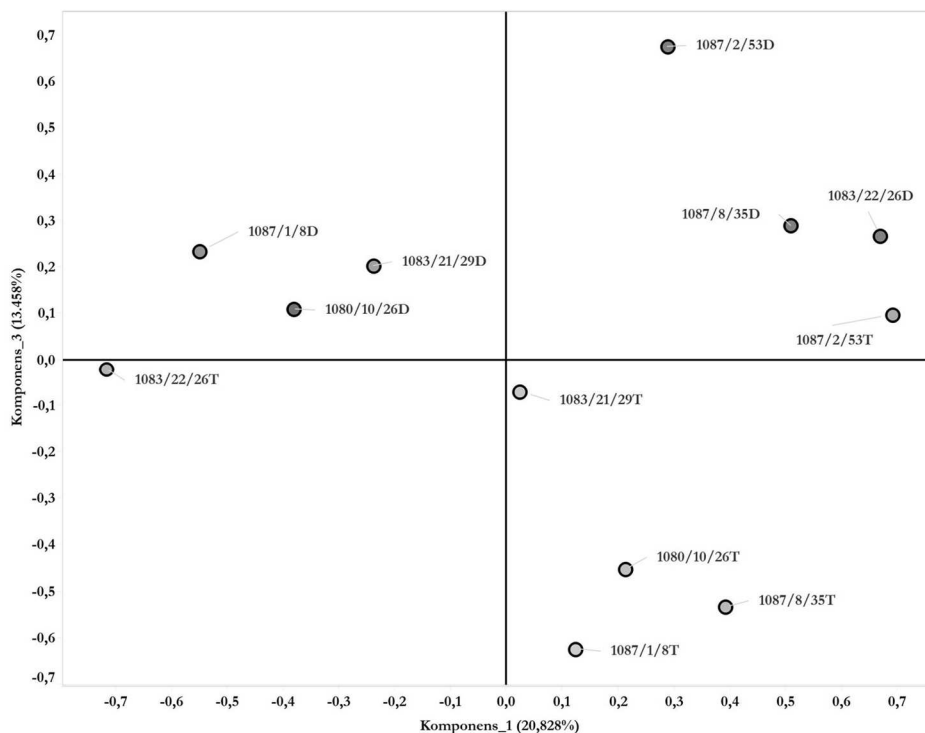


Figure 5. Principal component analysis of different ploidy levels ($2n=D$, $4n=T$) genotypes based on all defined yield components.

A vonalak között azonban jelentős különbségeket figyelhetünk meg (4. táblázat). A tetraploidok között a legrövidebb bugával, a legkisebb szemszámmal és legtöbb steril szemmel (23,3 cm) a 1080/10/26T vonal rendelkezik. Így a fertilitása és a termése is a legalacsonyabb a vizsgált genotípusok között. A következő kisbugájú vonal a 1087/8/35T. A rövid buga ellenére a legtöbb ép szemet tartalmazza, és 2. legalacsonyabb steril szemmel szempontból közepes értékű vonal az 1087/1/8T. A buga hossza jelentősen befolyásolja a fertilitása a legmagasabb (~60%). Minden a rizs terméshozamát (Ghaleb et al. 2020), ezért a hosszabb bugájú vonalak ígérnek a legnagyobb termést. Ide három vonal is tartozik: 1083/22/26T, 1083/21/29T és az 1087/2/53T. Az első kettő a nagyobb buga ellenére alacsony szemszámú, közepes

fertilitású és közepes termőképességű, viszont a harmadik magas szemszámú, a steril szemek száma is magas, így a fertilitása kicsi, de még így is a legnagyobb termőképességet ennél a vonalnál regisztráltuk (4. táblázat). A tenyészidejük időbeli sorrendje a következő: 1087/8/35T = 1083/22/26T < 1083/21/29T < 1080/10/26T < 1087/2/53T < 1087/1/8T.

4. táblázat. A különböző genotípusok termést meghatározó paramétereit

Genotípus (1)	Bugahossz (cm) (2)	Telt szemek (db) (3)	Üres szemek (db) (4)	Fertilitás (%) (5)	Termés (g) (6)
Átlag ± Szórás (7)					
1080/10/26D	24,0±1,1	99,0±18,2	15,5±6,5	86,8±4,2	259,7±43,5
1080/10/26T	23,3±1,1	18,6±4,2	65,3±8,9	22,3±5,4	25,4±5,7
1083/22/26D	19,4±1,3	76,7±10,5	7,0±2,6	91,6±3,3	251,2±26,1
1083/22/26T	24,0±1,8	37,4±8,5	38,5±9,1	49,4±7,7	67,1±5,6
1083/21/29D	21,0±2,0	104,6±18,3	24,6±8,6	81,2±4,2	318,2±95,8
1083/21/29T	24,5±1,3	46,0±14,0	55,2±11,1	45,1±11,6	73,8±10,8
1087/8/35D	18,5±2,0	98,3±17,8	31,9±13,0	75,9±8,0	353,3±49,5
1087/8/35T	23,5±1,7	64,8±11,4	45,4±7,6	58,7±5,5	100,2±15,0
1087/1/8D	17,1±1,0	84,6±20,0	25,0±11,3	77,0±9,6	213,3±30,6
1087/1/8T	23,9±1,9	59,0±14,6	62,6±19,9	49,2±12,1	102,3±9,5
1087/2/53D	18,4±1,2	78,9±13,5	34,2±13,6	70,4±6,8	181,7±20,2
1087/2/53T	24,9±2,5	62,9±16,4	78,4±19,9	44,7±9,9	133,2±28,9

Table 4. Yield parameters of different genotypes. (1) Genotype, (2) Flower length (cm), (3) Number of filled grains, (4) Number of empty grains, (5) Fertility (%), (6) Yield (g), (7) Mean ± standard deviation

Következtetések

Kísérletünkben két magyar (Dáma és Marilla), egy olasz (Nembo) és egy afrikai (IRAT 109) fajtát használtunk fel a keresztezéshez, melyekből előállított tetraploid és diploid DH vonalakat vizsgáltuk szántóföldi körülmények között. *Wenhang* és *Yuhua* (1992) szerint a növénymagasság átlagosan 7,3–9,1% csökken a tetraploidok esetében. Az általunk vizsgált vonaloknál azonban 9–35%-kal csökkent a magasság, kivétel a 1083/22/26T, amely nem különbözött jelentősen diploid párjától (0,93%). A vegetatív fázis alatti növekedés nem különbözött jelentősen a két

csoport között (3. ábra) annak ellenére, hogy *Koide et al.* (2020) a tetraploidok lassabb fejlődéséről számoltak be. A tényleges lassulást a reprodukciós fázisban tapasztaltuk, ami viszont megerősíti a korábbi eredményeket, hiszen az autotetraploidok meiózisa során számos abnormális kromoszómaviselkedést, aszinkron sejtosztódást, mikrospórák degenerációját figyelték meg (*Wu et al.* 2014). Ezzel a lassulással együtt is a 1087/8/35T vonal a szeptemberi felmérés alkalmával a BBCH 77 (késői tejes fázis), míg a diploid a BBCH 83 (korai viaszérés) állapotában volt. Ennél a párnál volt a legkisebb mértékű a fejlődésbeli különbség.

A tetraploid vonalak értékelésében egyik legfontosabb paraméter a fertilitási és termőképességi adatok. A bugánkénti szemszám három vonal esetében 56–76%-os csökkenést mutatott a diploidokhoz képest (1083/21/29T 56%, 1083/22/26T 62% és 1080/10/26T 76%). További két vonal értékei megegyeznek az irodalmi adatokkal (1087/1/8T 30%, 1087/8/35T 34%), míg a 1087/2/53T vonal szemszáma mindösszesen csak 20%-ot csökkent, ami jelentősen kisebb, mint 35,2–38,4%-os referencia adat (*Wenchang és Yuhua* 1992). A *japonica*-k esetében 20%-os, míg az *indica* esetében 50%-os fertilitást jelentettek, mint átlagos érték (*Yü-rui* 1956). A PMeS vonalak megjelenésével ez felugrott 80%-ra (*Cai et al.* 2007), ami már versenyképes a diploidok értékeivel. Az ez utáni fejlesztések eredményezték az úgynevezett Neo-Tetraploid rizseket (*Guo et al.* 2017), amelyek szintén magas 68%-os fertilitási értéket mutatnak. Kísérletünkben a fertilitás 22,3% és 58,7% között mozgott. Az 58%-os értéket a 1087/8/35T vonalnál tapasztaltuk. Ez magasabb, mint hagyományos autotetraploidok maximális 50%-os értéke, ami biztató eredménynek számít.

Köszönetnyilvánítás

A kutatások az OTKA (FK_21-FK138042) projekt, valamint az Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott ÚNKP-22-4-I-MATE/5 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a szakmai támogatásával készültek.

IRODALOM

Cai, D.-Chen, J.-Chen, D.-Dai, B.-Zhang, W.-Song, Z.-Yang, Z.-Du, C.-Tang, Z.-He, Y.-Zhang, D.-He, G.-Zhu, Y.: 2007. The breeding of two polyploid rice lines with the characteristic of polyploid meiosis stability. *Science in China Series C: Life Sciences*. 50: 356–366.

- Chen, R.-Feng, Z.-Zhang, X.-Song, Z.-Cai, D.: 2021. A New Way of Rice Breeding: Polyploid Rice Breeding. *Plants*. 10: 422.
- Dunwell, J. M.: 2010. Haploids in flowering plants: origins and exploitation. *Plant Biotechnology Journal*. 8: 377-424.
- Ghaleb, M. A. A.-Li, C.-Shahid, M. Q.-Yu, H.-Liang, J.-Chen, R.-Wu, J.-Liu, X.: 2020. Heterosis analysis and underlying molecular regulatory mechanism in a wide-compatible neo-tetraploid rice line with long panicles. *BMC Plant Biology*. 20: 1-83.
- Guo, H.-Mendrikahy, J. N.-Xie, L.-Deng, J.-Lu, Z.-Wu, J.-Li, X.-Shahid, M. Q.-Liu, X.: 2017. Transcriptome analysis of neo-tetraploid rice reveals specific differential gene expressions associated with fertility and heterosis. *Scientific Reports*. 7: 40139.
- He, Y.-Wei, Q.-Ge, J.-Jiang, A.-Gan, L.-Song, Z.-Cai, D.: 2010. Genome duplication effects on pollen development and the interrelated physiological substances in tetraploid rice with polyploid meiosis stability. *Planta*. 232: 1219-1228.
- Hilu, K. W.: 1993. Polyploidy and the Evolution of Domesticated Plants. *American Journal of Botany*. 80: 1494-1499.
- Jiao, Y.-Wickett, N. J.-Ayyampalayam, S.-Chanderbali, A. S.-Landherr, L.-Ralph, P. E.-Tomsho, L. P.-Hu, Y.-Liang, H.-Soltis, P. S.-Soltis, D. E.-Clifton, S. W.-Schlarbaum, S. E.-Schuster, S. C.-Ma, H.-Leebens-Mack, J.-dePamphilis, C. W.: 2011. Ancestral polyploidy in seed plants and angiosperms. *Nature*. 473: 97-100.
- Koide, Y.-Kuniyoshi, D.-Kishima, Y.: 2020. Fertile Tetraploids: New Resources for Future Rice Breeding? *Frontiers in Plant Science*. 11: 1231.
- Lancashire, P. D.-Bleiholder, H.-Boom, T. V. D.-Langelüddeke, P.-Stauss, R.-Weber, E.-Witzenberger, A.: 1991. A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. *Annals of Applied Biology*. 119: 561-601.
- Lantos, Cs.-Jancsó, M.-Székely, Á.-Nagy, É.-Szalóki, T.-Pauk, J.: 2022. Improvement of anther culture to integrate doubled haploid technology in temperate rice (*Oryza sativa* L.) breeding. *Plants*. 11: 3446.
- Liu, X.-Lu, T.-Yu, S.-Li, Y.-Huang, Y.-Huang, T.-Zhang, L.-Zhu, J.-Zhao, Q.-Fan, D.-Mu, J.-Shangguan, Y.-Feng, Q.-Guan, J.-Ying, K.-Zhang, Y.-Lin, Z.-Sun, Z.-Qian, Q.-Lu, Y.-Han, B.: 2007. A collection of 10,096 indica rice full-length cDNAs reveals highly expressed sequence divergence between *Oryza sativa* indica and japonica subspecies. *Plant Molecular Biology*. 65: 403-415.
- Nakamori, E.: 1933. On the Occurrence of the Tetraploid Plant of Rice, *Oryza sativa* L. *Proceedings of the Imperial Academy*. 9: 340-341.
- Net1: <http://www.knowledgebank.irri.org/decision-tools/growth-stages-and-important-management-factors> (letöltve 2023. 01. 13.).
- Oka, H. I.: 1955. Studies on Tetraploid Rice. *Cytologia*. 20: 258-266.

- Shahid, M. Q.-Hai-Ming, X.-Shun-Quan, L.-Zhi-Xiong, C.-Naeem, M.-Li, Y. J.-Liu, A.:* 2012. Genetic analysis and hybrid vigor study of grain yield and other quantitative traits in autotetraploid rice. *Pakistan Journal of Botany*. 44: 237-246.
- Shahid, M. Q.-Liu, G.-Li, J.-Naeem, M.-Liu, X. D.:* 2011. Heterosis and gene action study of agronomic traits in diploid and autotetraploid rice. *Acta Agriculturae Scandinavica*. 61: 23-32.
- Song, Z.-Du, C.-Dai, B.-Chen, D.-Chen, J.-Cai, D.:* 2007. Studies on the Growth Habits and Characteristics of Two Polyploid Indica-Japonica Hybrid Rice with Powerful Heterosis. *Agricultural Sciences in China*. 6: 265-274.
- Van de Peer, Y.-Mizrachi, E.-Marchal, K.:* 2017. The evolutionary significance of polyploidy. *Nature Reviews Genetics*. 18: 411-424.
- Wang, W.-Tu, Q.-Chen, R.-Lv, P.-Xu, Y.-Xie, Q.-Song, Z.-He, Y.-Cai, D.-Zhang, X.:* 2022. Polyploidization Increases the Lipid Content and Improves the Nutritional Quality of Rice. *Plants*. 11: 132.
- Wen-kwei, P.-Yü-ruí, Y.:* 1956. A Preliminary Report on Investigations of Autopolyploids and Amphidiploids in Some Cereal Crops. *Journal of Integrative Plant Biology*. 5. 3: 297-321.
- Wenchang, S.-Yuhua, Z.:* 1992. Rice Tetraploidy and Its Effect on Agronomic Traits and Nutritional Constituents. *Acta Agronomica Sinica*. 18: 137-144.
- Wheeler, T.-von Braun, J.:* 2013. Climate change impacts on global food security. *Science*. 341: 508-513.
- Wu, J.-Shahid, M. Q.-Guo, H.-Yin, W.-Chen, Z.-Wang, L.-Liu, X.-Lu, Y.:* 2014. Comparative cytological and transcriptomic analysis of pollen development in autotetraploid and diploid rice. *Plant Reproduction*. 27: 181-196.

A szerzők levelezési címe - Address of the authors:

*Dr. Székely Árpád - Dr. Szalóki Tímea - Dr. Jancsó Mihály
MATE Környezettudományi Intézet
Öntözési és Vízgazdálkodási Kutatóközpont
Szarvas
Anna liget u. 35.
H-5540
*szekely.arpad@uni-mate.hu

Dr. Pauk János - Dr. Lantos Csaba
Gabonakutató Non-profit Kft.
Szeged
Alsó Kikötő sor 9.
H-6726