

SZAKDOLGOZAT

Kállay Dalma Róza
Msc. Mezőgazdasági Biotechnológus

Gödöllő
2023



MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

**Új generációs gabonafajták létrehozása távoli faj és nemzettség
keresztezésekkel**

Készítette:

Kállay Dalma Róza

mezőgazdasági biotechnológus MSc.

Konzulens:

Polgári Dávid

egyetemi adjunktus MATE

Sági László

tudományos főmunkatárs ATK MGI

Gödöllő

2023

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS	5
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	7
2.1. Gabonanövények szerepe az élelmezésben és a történelemben:	7
2.2. Általános ismeretek a gabonanövényekről	8
2.3. A talaj szerepe az eredményes gazdálkodásban.....	9
2.4. Fenntartható mezőgazdaság	11
2.5. Az évelés, jelentősége a fenntartható mezőgazdaságban.....	12
2.6. Az évelő gabonák mint alternatív lehetőség	12
2.7. Az évelő rozs.....	14
2.8. Faj – és nemzetséghibridek	16
2.9. Évelő nemzetséghibridek	18
2.10. A búza és a rozs hibridjei	18
2.11. A colchicin általi genomduplikáció	21
2.12. Az évelő gabonafélékben rejlő perspektívák	22
3. ANYAG ÉS MÓDSZERTAN	24
3.1 Növényanyag	24
3.2. Hibrid növények nevelése	31
3.3. Fiatal növények genomduplikációja	31
3.5. Áramlásos citometria	32
4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK	34
4.1. Csíranövények genomduplikációjának ellenőrzése	34
4.2. Fiatal növények genomduplikációjának ellenőrzése	36
4.3. Mv9Kr1 × Keleti1 keresztezésből származó utódnemzedék genoméretének meghatározása	38
4.4. Mv9Kr1 × Report keresztezésből származó utódnemzedék genoméretének meghatározása	41

4.5. T8 × Keleti 1 keresztezésből származó utódnemzedék genoméretének meghatározása	42
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK	45
5.1. Az évelő rozs poliploidizációjára tett kísérletek eredményinek értékelése	45
5.2. Az évelő rozs keresztezésével előállított hibridek és azok genomduplikációs kezelésének eredményeinek értékelése	45
6. ÖSSZEFOGLALÁS	49
SZAKIROLDALMI JEGYZÉK	50
Internetes források	52
ÁBRAJEGYZÉK	53
TÁBLAJEGYZÉK	53
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	54
NYILATKOZAT	55

1. BEVEZETÉS

Magyarországon élelmezési szempontból legfontosabb növényeink a kalászos gabonák, melyeket a termékeny félhold területén már i.e. V. évezredben elkezdtek termesztani. Ezeket a növényeket előszeretettel használták fel kenyérsütés, takarmányozás céljából, de építőipari alapanyagként is számításba kerültek ([http 1 Arcanum](http://1 Arcanum)).

Az évelő növények általánosan kisebb termőképességük miatt nem jönnek számításba az intenzív növénytermesztésben, azonban számos olyan hasznos tulajdonsággal rendelkeznek, melyek a fenntartható mezőgazdálkodás ezen belül az egyre nagyobb hangsúlyt kapó talaj barát vagy talajkímélő növénytermesztés szempontjából egyáltalán nem elhanyagolhatóak. Erősebb, fejlettebb gyökérzetük miatt képesek a talaj mélyebb rétegeiből felvenni a vizet és a tápanyagokat, szántás után a gyökérmaradványok képesek szervesanyaggal feltölteni a talajokat, valamint jó hatást gyakorolnak annak szerkezetére és mikrobaösszetételére, ezért olyan területeken érdemes őket számításba venni, ahol az intenzív feltalajművelés, vetéscserélő nélküli egyévesek termesztése kizsárolta és tömörítette a talajt, vagy akár eróziós problémákat okozott a területen.

Az évelők alkalmazása, az erózióknak vagy deflációnak kitett területeken olyan alternatíva, amelyik megfelel a talajkímélő mezőgazdálkodás kettős céljának. A rendszeres takarás védelmet nyújt ezen problémák ellen, ami igen fontos szempont, tekintve, hogy a szántóföldi művelésre használható területek száma egyre csökken. Viszont az is megjegyzendő, hogy ezen növények alkalmazkodóképessége, ellenállósága, fagyűrőképessége lehetővé teszi termesztésüket pont azokon a területeken, ahol az egyéves kultúrnövényeink, mint az őszi búza, nem lehetnének nagyobb veszteség nélkül termeszthetőek.

A korábbi rossz mezőgazdasági gyakorlat elsősorban a minél nagyobb terméshozamokra fókuszált, kevés figyelmet fordítva a fenntartható talajművelésre. A termőföld e módon ilyen módon történő kizsárolása a talaj elszegényedéséhez, eróziójához vezetett, sok helyen teljesen alkalmatlanná válva az eredményes mezőgazdasági termelésre. A termőképességének visszaállítása, szervesanyaggal való újra feltöltődése több évtizedes folyamat, mellyel az elsősorban profitorientált termesztezők nem vesződnek, éppen ezért rendkívül hasznos lehet olyan új növényfajok vagy fajták, valamint hozzá kapcsolódó agrotechnika alkalmazása, melyek a talaj termőrétegének remediációjával párhuzamosan a gazdálkodó számára hasznot is termelnek.

Ennek a kettős célnak a megvalósítására különösen alkalmasak lehetnek az évelő kalászos gabonák, melyek talajbolygatás nélkül akár 5 éves ciklusidővel termesztethetők, mély gyökérzetükkel évről évre javítva a talaj szerkezetét és összetételét. Monokultúrában vagy akár más pillangós növényvel keverve is kiváló takarmányt adnak, melyek hasznosítása elsősorban szállastakarmányként, gépi betakarítással vagy direkt legeltetéssel is lehetséges.

Mivel az utóbbi években egyre nagyobb teret nyer a fenntartható mezőgazdaságra és talajművelésre épülő szemléletmód, és a magyar vetőmagpalettán a felhozatal ilyen növényfajtákból eléggé szegényes, munkánk kezdetén az idegen fajú hibridizáció eszközkészletét felhasználva olyan új típusú növények előállítását és tesztelését tűztük ki célul, melyek megfelelnek a fenti elvárásoknak.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. Gabonanövények szerepe az élelmezésben és a történelemben:

A kalászosok közül az egyik legkorábban termesztésbe vett gabona a búza volt, aminek főleg kenyérsütésben volt nagyobb szerepe 10-12 ezer éve a mai napig. Feltehetően Közel-Keletről, Elő-Ázsiából terjedtek el a régebbi búzafajok - **alakor** (*Tr. monococcum*), **tönke** (*Tr. dicoccum*), **tönköly** (*Tr. spelta*) - Európa, Ázsia, és Észak-Afrika felé. A nagyobb terméshozammal rendelkező fajták- **közönséges búza** (*Tr. aestivum*) és **durumbúza** (*Tr. durum*) csak később alakultak ki.

A búzafajok a kromoszómaszámuk alapján is csoportosíthatóak:

- diploid: **alakor** (egyszemű búza, *Triticum monococcum* ssp. *monococcum*)
- tetraploid: **tönke** (kétszemű búza, *Triticum turgidum* ssp. *dicoccon*),
- hexaploid: **tönköly** (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*).

Legelőször a diploid, majd a tetraploid, később pedig a hexaploid sorozat fajai alakultak ki többnyire az ember tudatos szelekciós munkájának segítségével. Viszont mivel a tönke és tönköly búzák fajkeresztezéssel jöttek létre, azok fajhibridnek tekinthetők (PEPÓ P., SÁRVÁRI M. 2011; BÁLINT A. F. 2008).

A gabonafélék szelekciójában fontos szempont volt a szemméret, valamint a monokultúra elviselése. A magas szénhidráttartalom a tápanyag miatt, az alacsony víztartalom pedig a tárolhatóság, szállíthatóság miatt volt lényeges. Mindemellett melléktermékeit (szalmát, töreket, pelyvát) fekhely, alom, tetőfedésre, soványító anyag kerámiához, paticshoz, fonáshoz, takarmányozáshoz is fel tudták használni (BÁLINT A. F. 2008).

A búza mellett a **rozs** (*Secale cereale*), a **köles** (*Panicum miliaceum*), a **zab** (*Avena sativa*) és az **árpa** (*Hordeum fajok*) is gabonák, amik a Pázsitfűfélék családjába tartoznak. Az alakorra (*Triticum monococcum*) és a rozsra (*Secale cereale*) jellemző volt, hogy igénytelenségük és hidegtűrőképességük miatt szinte bárhol termesztőek voltak. Az alakor, mint a búza az egyik legkorábbi változata a középkorban, főleg Erdélyben, a 15. században volt népszerű a gabonanövény. Takarmányként és emberi fogyasztásra is felhasználták, viszont a mai gabonafélékhez képest sokkal munkaigényesebb volt, mivel őrlés előtt hántolni kellett. Erdélyben a rozs termesztése is szintúgy jelentős volt. Őszi és tavaszi változatát mint *gazdag* vagy *fejér* rozs néven vetették, főleg hegyes és homokos területeken. Lisztjéből

búzaliszttel keverve szoktak kenyeret sütni, szalmáját alomként, takarmányként használták fel, de szokás volt akár házak fedésére is alkalmazni (BÁLINT A. F. 2008; http 1 Arcanum).

Hazánkban a leginkább termesztett gabonafajták közül a búzát (*Triticum*) érdemes megemlíteni, melynek akkoriban őszi és tavaszi változata igen ismert volt, de az idő múlásával napjainkban már főként csak az őszi változatát termesztjük. A 18. században főleg *szakállas*, illetve *kopaszfejű* vagy *tarbúza* fajták voltak ismereteseek. Később *forgóbúza* és *lengyelbúza* fajták is bekerültek a hazai termesztésbe. A búza felhasználását többnyire élelmezésben, főleg a kenyérsütésben lehet megemlíteni. (http 1 Arcanum)

A búza fontosságát főképpen megfelelő beltartalmi értéke adja: magas szénhidrátartalma, 11-18%-os fehérjetartalma és 30-38%-os nedves sikértartalma (ami legnagyobb a gabonák közül) ideálissá tette az élesztő, kovász hozzáadásával, hogy szivacsos szerkezetű kenyeret készíthessenek belőle. Ezáltal nem csoda, hogy a búza lett a világon a legnagyobb területen termesztett szántóföldi növényünk (PEPÓ P., SÁRVÁRI M. 2011).

2.2. Általános ismeretek a gabonanövényekről

Hazánkban és a világon a gabonanövényeket termesztik a legnagyobb területen. Mivel többségük primer kultúrnövény, már közel 10-12 ezer éve folyik a termesztésük. Elsősorban élelmezés szempontból termesztik őket, így igen nagy kihívást jelent a Föld folyamatosan növekvő lakosságának a megfelelő minőségű és mennyiségű táplálék megtermelése. Emellett takarmányozásra, ipari nyersanyag, üzemanyag (bioetanol) előállítására is felhasználják.

A gabonanövények többsége a Pázsitfűélék (*Gramineae* vagy *Poaceae*) családjába tartozik. Fontosabb géncentrumok: a Közel-Kelet (búza, árpa, zab), Közép- és Dél Amerika (kukorica, amaránt), Ázsia (rizs, pohánka) és Afrika (cirok, köles) (PEPÓ P., SÁRVÁRI M. 2011).

	termésátlag (t/ha)	Mo. vetésterület (ha)	Föld vetésterület (ha)
őszi búza	4,5	1-1,1 millió	220 millió
kukorica	5,64	1 millió	188 millió
rizs	3,5-4,5	3000	160 millió
őszi árpa	4-5,2	200-270.000	46-50 millió
rozs	2,9	25-30.000	4,4 millió
tritikálé	3,6	139.000	4,1 millió

1. táblázat Fontosabb gabonanövények termesztés adatai (saját szerkesztés) (PEPÓ P. 2019b,c)

Főbb termesztők (vetésterület alapján):

- **őszi búza:** India, Oroszország, Kína, USA, Kazahsztán, Ausztrália, Kanada, Pakisztán, Törökország, **Ukrajna**

- **rizs:** India, Kína, Indonézia, Banglades, Thaiföld, Vietnam, Mianmar, Fülöp-szigetek

- **őszi árpa:** Oroszország, Ausztrália, **Ukrajna**, Spanyolország, Törökország, Kanada, Franciaország

- **rozs:** Oroszország, Lengyelország, Németország, Fehéroroszország, USA, Kína, Spanyolország

- **tritikálé:** Lengyelország, Fehéroroszország, Németország, Franciaország, Kína, Oroszország, Spanyolország, **Magyarország**

(^{2,3}PEPÓ P. 2019)

- kukorica: USA, Kína, Brazília, India, Mexikó, Argentína, **Ukrajna**, Indonézia (KSH. 2014)

Mínthogy a gabonanövények nagy szerepet játszanak az élelmezésben és a takarmányozásban, olyan országok, amelyek a főbb termesztők közé tartoznak, nagy befolyással lehetnek az élelmiszer árakra és ellátásra. Erre talán a legközelebbi példa az Ukrán-Orosz háború (kezdete: 2022.02.24.) által okozott lehetséges élelmiszer válság lehet (BASA M. 2022).

2.3. A talaj szerepe az eredményes gazdálkodásban

Magyarország 9.3 millió hektáros termőterülete a korábbi trendekkel szemben a rendszerváltás óta folyamatosan csökken. Az utóbbi évtizedek rossz mezőgazdasági gyakorlata, az intenzív talajbolygatás, a túlzott műtrágya és vegyszerhasználat olyan káros folyamatokat indított el, melynek következtében talajaink minősége évről évre folyamatosan romlik, az emelkedő műtrágya, vetőmag és vegyszerárak mellett, egyre nagyobb terület válik mezőgazdasági művelésre alkalmatlanná. Ez elsősorban a termőterületet érintette, ami 1990 és 2016 között közel 823 ezer hektárral csökkent és vált kivett területté (CSIPKÉS M. és mtsai. 2017).

A talajdegradáció egy olyan folyamat, amely csökkenti a talaj termékenységét. Ennek kiváltói általában természeti okok vagy emberi hatások lehetnek, mint például olyan mezőgazdasági művelések, ahol jelentős a talajkiszaroló művelés, talajszerkezet-rombolás, vagy akár nehéz erőgépekkel a talajok túlművelése. A legfontosabb talajt érhető veszélyeztető tényezők: a tömörödés, belvív, szikesedés, talajerózió, talajszennyezés, szervesanyag-készlet csökkenése, biodiverzitás megváltozása, talajfedés és a sivatagosodás. Magyarország területének közel 25%-át érinti erózió gyengébb vagy erősebb formában, és körülbelül 1 millió hektárnyi területet károsít defláció. Körülbelül évi 80 millió tonnára becsülik a szél által elhordott humuszos feltalajt a Földön, ami igen nagy szervesanyag veszteséget jelent, ami miatt biológiai degradáció is kialakulhat (PEPÓ P. 2019a).

Az erózió és defláció miatt létrejövő talajpusztulás természetes folyamat, de káros emberi beavatkozások miatt olyan mértékben képes felgyorsulni, amely akár katasztrofális is lehet. A lehulló csapadék víztartóképeség romlást, a termőréteg elvékonyodását, valamint szerves- és tápanyagkészlet hiányt okozhat, melynek során csökken a talaj termőképessége. A defláció ezen túl még homokverést is okozhat, amely azt jelenti, hogy a talajból kikerülhetnek az elvetett magok, csíranövények, a szél könnyen kitakarhatja a gyökérzetet is, melynek során a növényt sérülések érhetik, ami akár gombás megbetegedések kialakulását is elősegítheti. (ÁNGYÁN J., MENYHÉRT Z. 2004).

Az egyre nagyobb területet érintő talajkárosodás következményei rávilágítottak arra, hogy az utóbbi évtizedek mezőgazdasági gyakorlata hosszú távon fenntarthatatlan. Eredményes gazdálkodást csak a talaj állapotának és termőképességének fenntartásával lehet folytatni, amire az utóbbi években számos technológia került kidolgozásra (ÁNGYÁN J., MENYHÉRT Z. 2004).

Kutatási eredmények bizonyítják, hogy a folyamatos növényborítottság jelentősen képes csökkenteni a víz és a szél erodáló hatását. bizonyos növényeknek olyan talajvédő hatásuk van, amely erózió (a víz talajpusztító hatása) és defláció (a szél talajromboló hatása) elleni védelemben fontos szerepet játszanak. Mivel ez a talajborítottság idejével van szoros összefüggésben, ezért a hosszabb ideig fedettséget biztosító évelő növények nyújtanak nagyobb védőhatást. Megemlítendő, hogy a talaj beárnyékolása kedvez a megfelelő nedvességállapot kialakulásához, így csökkentve az erodálhatóságot. Homoktalajokra, kiszáradás és defláció elleni védelmi okokból akár rozs és zab kombinált magkeverékek vetését is ajánlják (TÖRÖK P. 2013).

Talajpusztulás		1000 ha	Az összterület %-a
Erózió	Erős	554	6,0
	Közepes	885	9,5
	Gyenge	858	9,2
	Összesen	2297	24,7
Defláció által erősen veszélyeztetett		1450	15,6
Összesen:		3747	40,3

2. Táblázat: Talajpusztulás Magyarországon. (ÁNGYÁN J., MENYHÉRT Z. 2004)

2.4. Fenntartható mezőgazdaság

NEMÉNYI M. (2020) szerint a fenntartható fejlődésnek meg kell felelnie az ökológiai elvárásoknak, ami olyan környezetbarát feltételeket jelent, mint: az agrár biodiverzitás növelése, a klímaváltozást semlegesítő, vagy csökkentő beavatkozások, valamint a fejletlen országok életszínvonalának növelése, amelyben legfontosabb az éhezés megszüntetése és a megfelelő minőségű ivóvíz biztosítása. Egy másik lehetőség a fenntarthatóságra az ökológiai, avagy biogazdálkodás, amely törekszik minél kisebb anyag- és energiafelhasználással tevékenykedni, ezzel takarékoskodva a természeti erőforrásokkal.

Mivel a megfelelő minőségű és mennyiségű élelmiszer biztosítása egyre nehezebbé válik a folyamatosan növekvő népesség miatt, így a mezőgazdaságnak is új útvonalakat kell keresnie.

VALKÓ G. és mtsai (2018) úgy vélik, a fenntartható mezőgazdaságnak 4 fő területe van. Ezek:

- a megfelelő minőségű élelmiszerellátás,
- a környezet és a természeti erőforrások megóvása,
- a gazdagság, avagy jövedelmezőképesség megtartása,
- és a vidéki életminőség, valamint környezet védelme.

KOPASZ M. (2004) arról ír, hogy az agrárágazatban több tényező határozza meg, hogy egy mezőgazdaság fentartható-e vagy sem, mint például a biodiverzitás, avagy változatos életforma közösségek megléte, a műtrágya mennyiségi és minőségi felhasználása - a nem ésszel használt műtrágyázásnak káros hatása lehet a környezetre, különösen a felszíni vizekre, és talajsavanyodást is okozhat – a kémiai növényvédőszer pedig az emberre és a

környezetre is ártalmasak lehetnek, viszont szükségesek a baktériumok, gombák okozta járványok, rovarok, mikotoxinok elleni védelemben, valamint a gyomok visszaszorításában. Szerencsére a megelőzőes védekezéssel akár csökkent vegyszeres kezelésekkel is kivédhetőek többnyire ezek a problémák, mint agronómiai módszerekkel, megfelelő talaj-előkészítéssel, indokolt vetésszerkezettel és mechanikai növényápolással. A talaj megóvása szintúgy fontos szempontja a fenntarthatóságnak, ezért célzottabb lenne a talajtömörítés csökkentése, erő- és munkagépek általi műveletek összekapcsolása és megfelelő képességekkel rendelkező munkások alkalmazása (KOPASZ M. 2004).

2.5. Az évelés, jelentősége a fenntartható mezőgazdaságban

Talajvédelem szempontjából különösen fontos szerep juthat bizonyos növényfajoknak is. Különösen a szántóföldi növénytermesztésre igaz, hogy a vetésszerkezet megfelelő megválasztásával a talajerózió mértéke csökkenthető. A növénykultúra féleségével szoros összefüggésben lényeges az állomány sűrűsége, a talajborítottság mértéke, a növényzet fejlettsége, a vetésforgóban vagy monokultúrában való termesztés különbözősége, a gyökérzet kiterjedtsége, a talajfedettség időtartama is. A legnagyobb, erózió elleni talajvédelmi hatás azoknál a növényeknél érvényesül, melyek a leghosszabb ideig fedik az adott területet, legnagyobb kiterjedésű a levélzetük, gyökérzetük kellőképp átszövi a talajt, és sűrű állományban tenyésznek. (BIRKÁS M. 2001).

A talajszerkezet megóvásáért vagy annak helyreállításáért folytatott harcban leghasznosabb szövetségeseink azok az évelő kultúrnövények lehetnek, melyek talajbolygatás nélkül több éven keresztül termeszthetőek ugyanazon a területen. Ilyen növény lehet többek között a lucerna, vagy azok a kalászosok, melyek a tél elmúltával az áttelelő részekből évről évre újra kihajtanak.

2.6. Az évelő gabonák mint alternatív lehetőség

Az évelő gabonáknak rengeteg jó tulajdonsága van:

- képesek a szántóföldi területek biológiai és ökológiai tulajdonságait jótékonyan befolyásolni,
- monokultúraként és köztes kultúraként is képesek az altalaj szervesanyagkészletét növelni,

- az egyéves növények által okozott környezeti problémákat csökkenteni tudják,
- mérsékelni tudják az erózióknak és deflációknak kitett területek mértékét,
- a talaj mélyebb rétegeiből is képesek felvenni/hasznosítani tápanyagokat,
- jobban viselik a klímaváltozás következményeit,
- csökkenteni tudják a gazdasági költségeket: kevesebb növényvédőszer, tápanyagkijuttatást igényelnek,
- valamint hatékonyabbá teszik a mezőgazdasági termelést (V.AUDU és mtsai 2022; D. SOTO-GÓMEZ, P. PÉREZ-RODRÍGUEZ 2022).

V.AUDU és mtsai (2022) kísérletükben az évelő gabonák hatását figyelték a talaj szervesanyag-tartalmára és mikrobiális felépítésére, melynek során termesztett búzát, tarackbúzát monokultúrában vagy lucernával köztes termesztésben alkalmaztak. A talajmintákat 0-30 cm és 30-60 cm mélyről vették, melyben analizálták a talaj szervesanyag-tartalmát, biomasza összetételét, potenciális enzimaktivitását és egyéb tényezőit. Megfigyelték, hogy a csak évelő tarackbúzával rendelkező talajnak tápanyagkijuttatás hiányában is magasabb volt a szervesanyag-tartalma és mikrobiális biomaszatömege a 30-60 cm mélységben, mint a köztermesztésben lévő búzáé.

D. SOTO-GÓMEZ és P. PÉREZ-RODRÍGUEZ (2022) munkássága során felhívja az olvasók figyelmét az évelő gabonák fontosságára egy fenntartható mezőgazdaságban, mivel ezek a növények - búza, rizs, kukorica, rozs, cirok stb. - egy harmadát képviselik az átlagosan emberi táplálkozásban elfogyasztott kalóriáknak.

Az egyéves termesztett növények több gazdasági és környezeti problémát okoznak, mint az erózió és a gyenge minőségű talaj, ami problémák évelő növényekkel mind megoldódnának.

A búza és rizs termesztése háromszorosára, a kukoricáé ötszörösére nőtt 1997 óta, viszont a vetésterület nem nőtt ezzel arányosan, ezért célszerű lenne szélesebb régióban termesztendő fajták közül szelektálni.

Intenzív gabonatermesztő monokultúrákban rengeteg növényvédőszer és tápanyagot juttatnak ki, aminek nagy részét fel sem veszi a növény, ennek következtében a felszín alatti vizekbe fog kerülni, ezzel komoly környezeti problémát okozva olyan populációknak, amik a felszín alatti vizektől függenek. A gyomirtószer, fungicidek és inszekticidek pedig nemkívánatos módon befolyásolhatják a biodiverzitást.

Intenzív gabonakultúrák komoly eróziós problémákat is eredményezhetnek, amit meredek lejtőkön ért vízhatások, vagy akár fedetlen területeken intenzív szántás okozhat, mivel a talajművelés csökkenti a szervesanyag- és tápanyagtartalmát a talajnak és rontja a talaj szerkezetét.

Ezzel szemben az évelő gabonák költséghatékonyabbak, mivel nem kell őket minden évben újratevetni, valamint nem igényelnek talajművelési/ápolási munkálatokat. Támogatják a talaj biodiverzitását, egészséges talajélet kialakulását, szerkezetét, stabilitását és akár szárazság ellenállóbbá is tehetik. Az évelők által a talaj felsőbb rétegeiben kialakult biomassza pedig takarást biztosít, ezzel védelmet nyújtva az erózió ellen.

Az évelőknek sokkal fejlettebb gyökérzetük van, mint az egyéves növényeknek, amiért hatékonyabban tudnak tápanyagot és vizet felvenni a talaj mélyebb rétegeiből, ezzel növelve a szénmegkötést és a vízbeszivárgást. Ezért olyan területeken, ahol a feltalaj intenzív talajművelés vagy klímaváltozás hatására hiányos tápanyagokkal, vízellátottsággal rendelkezik, célszerű lenne ezeket az évelő növényeket termesztetni. Fenntarthatóság céljából pedig, ha ezzel együtt tápanyagkijuttatás is történik, megszüntethetővé válna a tápanyag kimosódás és javítható lenne a talajvízminőség.

Ellenben az évelők rengeteg jó tulajdonságával meg kell említenünk néhány kevésbé hasznos tényezőt: bár az évelők több területen termeszthetőek, mégis ugyanolyan körülmények között kevesebb termést hoznak, mint az egyéves kultúrák, ezért érdemes olyan helyen termesztetni, ami kevésbé ideális az őszi, tavaszi kultúráknak, így legalább takarmányként és bioetanol gyártásban bőven felhasználható. Egy másik lehetséges probléma a vetésváltás kihagyása, ami lehetőséget ad különböző gyomok, kórokozók, kártevők elszaporodásának.

Más szempontból nézve viszont az évelő gabonákat hasznosítani lehetne legeltető állattartásban is, ami egyrészt kedvez az állatok egészségére, másrészt a legeltetés segít fenntartani az egészséges legelőket azáltal, hogy a legeltetési szokások és a szerves trágyázás révén serkenti a növények növekedését, ami egészségesebb talajokhoz vezet. Ezen kívül az erdőtüzek kockázatának csökkentésében is segít azáltal, hogy minimálisra csökkenti a száraz fű és növényzet mennyiségét a talajon (Herrero, M., 2010)

2.7. Az évelő rozs

Ilyen évelő kalászos növény többek között az évelő rozs is (*Secale cereanum*) egy fajhibrid, amit az őszi rozs (*Secale cereale L.*) és a vad típusú, évelő hegyi rozs (*Secale montanum Guss.*) keresztezéséből állították elő. Ez a hibrid 4-5 évig képes évelni, a vad fajokhoz képest nagy termőképességgel és kiváló betegség-ellenállósággal rendelkezik főleg levélrozsda, szárrozsda és lisztharmat ellen. Mindemellett kiváló a fagy- és szárazságtűrése, talajjal szembeni igénytelensége, valamint jó beltartalmi értékei vannak.

Széles ökológiai adaptációs képességei alkalmassá teszik szélsőséges adottságú termőhelyeken való termesztését, valamint egész éves talajborítása miatt igen ajánlott erózióval vagy deflációval veszélyeztetett talajokon termesztani.

Viszont mivel az alacsony maghozama miatt többnyire zöld takarmánnyként hasznosítják legelőkön és legeltetett területeken, ezért pillangósvirágúakkal alkotott magkeverékek kísérleteztek, abból az okból, hogy ennek a két növénynek a beltartalmi tulajdonságai komplementálni fogják egymást. Ebből kifolyólag nagy tömegű, emészhető rost tartalommal és jó minőségű fehérjével (magas esszenciális aminosav tartalommal) rendelkező takarmánykeveréket kaptak, ami a talajra is igen jó hatást fejt ki: a pillangósvirágúak mély gyökérzete megszünteti a tömörödöttséget és nitrogént köt meg a levegőből, a rozs gyökérzete pedig segíti a talaj megfelelő szerkezetének a kialakítását. Mivel a két növény gyökérzete a talaj más és más részeiből veszi fel a vizet, ezért a talaj vízháztartásában egyensúly tud kialakulni, és a növények nem kezdenek el versengeni az energiaforrásokért. A keverék tavasztól ősziig tud legelhető zöld tömeget biztosítani az állatok számára, viszont, ha szénát vagy szilázst készítenek belőle, télen is el tudja látni az állatokat. A magkeveréket ideálisan 3-5 évig célszerű használni, ami alatt a rozs fedettséget biztosít a talajnak az erózió elleni védelemben, gyökérzete segíti a talaj megfelelő szerkezetének kialakítását és szántás után a gyökérmaradványok szervesanyaggal képesek feltölteni a homokos talajokat, ezzel javítva a talaj tulajdonságait, így az ökológiai gazdálkodásban is nagy szerepet játszik (SIPOS T., HALÁSZ E. 2007).

Az évelő rozst Magyarországon Kotvics (1963) állította elő az 1950-es években, az első államilag elismert fajta az ő munkássága révén került bejelentésre. Az elkövetkezendő években ebből a növényből további két fajtát nemesítettek ki: a Krisztát (KRUPPA 2001) és a Gergőt (FARKAS és mtsai 2005).

Az ezredforduló első éveiben a szegmensben egyeduralgó évelő rozs, a tengeren túlról újabb vetélytársat kapott egy Kernza nevezetű (*Thinopyrum intermedium*), nemesített variáns személyében, amit M. LANKER és mtsai (2019) jelentettek be. A Kernza egy még többnyire új évelő gabona és takarmánynövény, ami nemrég lett elérhető termesztésre az

Egyesült Államokban. Többnyire ökológiai és gazdasági előnyei miatt nőtt a termesztése miatti érdeklődés, mivel ez a gabona igen igénytelen a talajminőségével és ásványianyagtartalmával szemben, valamint nagyon jó gyomelnyomóképességgel rendelkezik mélyrenyúló gyökérhálózata miatt, ami tápanyaggal látja el a talajt és segít a megfelelő szerkezet kialakításában, valamint takarása védelmet nyújt az erózió ellen.

A Kernza kettősfelhasználású, vagyis gabonaként humán élelmezésre és takarmányozásra is alkalmazható, de a gyakorlatban többnyire legeltetésre, valamint szalmájából alom készítésre használják fel.

A Kernzát forgalmazása előtt kutatásban ismertették, amiben 10 gazda termesztési élményeiket, eredményeiket írták le abból a szempontból, hogy milyen előnyöket jelentett a termesztőknek. A gazdák tapasztalataik alapján a növényt kisebb munkaigénye, évelése miatt egyáltalán nem, vagy kevesebbet kellett újravetni a következő évben, viszont összehasonlítva az egyéves gabonákkal, apróbb szemmérettel és sokkal alacsonyabb terméshozammal rendelkezik. Ez azért is jelentett problémát, mivel a betakarításhoz a gazdák közül többnek nem volt megfelelő alkatrésze, készüléke, emiatt a 10 gazdából 3-nak sikerült betakarítaniuk a magokat, köszönhetően a korábbi tapasztalataiknak. A többi farmer inkább legeltetéssel, takarmányként és alomként használta fel a növényt, viszont a gazdák a termesztés második évében jelentős terméshozam csökkenést és bokrosodást figyeltek meg, ami miatt a Kernza termesztési idejét 2-3 évre becsülik. Ez azért is jelent hátrányt, mivel így a növény piaci ára és bevétele igen bizonytalanná vált a termesztők számára annak ellenére, hogy alacsony költségű és kockázattal járó termesztése miatt ajánlják a gazdáknak. (M. LANKER és mtsai. (2019)

2.8. Faj – és nemzetséghibridek

Fajhibrid előállításokkal már az 1700-as évek óta foglalkoznak. Az első mesterséges fajhibrid, amiről írásos dokumentumok is vannak, Thomas Fairchild állította elő 1717-ben *Dianthus barbatus* (♀) és *D. caryophyllus* (♂) keresztezéséből. A keresztezések által létrehozott, a szülőkhöz képes új és kevert tulajdonságokkal rendelkező utódok nagy érdeklődést váltottak ki a tudomány területén, viszont fenntarthatóságukban nagy problémát okozott infertilitásuk, amely miatt csak vegetatív úton tudták tovább szaporítani a fajhibrideket (ZIRKLE 1935). Később 1760 és 1766 között Joseph Gottlieb Koelreuter végzett hasonló kísérleteket, mely során 65 különböző keresztezési kombinációt alkalmazott (13 nemzetség, 54 faj). Eredményei alapján bizonyította az eltérő fajok keresztezhetőségét,

viszont részben fertilis utódokat csak a *Nicotiana rustica* és a *N. paniculata* fajok keresztezéséből figyelt meg (ROBERTS 1929).

A termesztett búza maga is egy ún. nemzetséghibrid (*Triticum aestivum*) ami 3 kalászos fűféle kétlépcsős hibridizációja során alakult ki körülbelül 8-10 ezer év alatt. A háromszoros genommal rendelkező ún. allohexaploid búza mindhárom szülőjének teljes diploid genomját ($2n = 6x = 42$, AABBDD genom), megőrizte, míg a az eredeti fajok egyszeres genommal ($2n = 2x = 14$) rendelkeznek. (HUANG és mtsai. 2002),

Bár ezek a változások sok jó tulajdonsággal gazdagították a növényt, mint fokozott termőképesség, javult beltartalmi és sütőipari érték, szárerősség, télállóság, viszont az új genomszerkezet több új problémát is felvetett. A keresztezhetősége más vad fajokkal jelentősen lecsökkent, mivel a genomok eltérése olyan rendellenességeket okozott meiózis során, amivel erősen lerontották az létrejövő utódok fertilitását és életképességét. (FELDMAN és LEVY 2012).

A búzához közelebbi rokonságban lévő fajok nagy része ennek ellenére keresztezhető a búzával, viszont nagyon alacsony a valószínűsége akár részben fertilis utódok létrejöttének, ezért sikeres keresztezés érdekében gyakran alkalmaznak porzási, hormonális és in vitro technikákat A rozs (*Secale cereale*) ($2n = 2x = 14$, RR genom), mint a búzának közelebbi rokona, ivarosán szaporítható vele, és az utódok között részben fertilis növények is lesznek (BELEA 1976).

A tritikálé (*x Triticosecale* Wittmack) egy olyan gabona, amit az ember tudatosan alakított ki búza (*Triticum sp.*) és rozs (*Secale cereale*) keresztezéséből (STACE C. A. 1987; DARVEY et al., 2000). Ennek a nemzetség hibridnek az elsődleges célja az volt, hogy rendelkezzen a búza termőképességével, beltartalmi értékével és a rozs igénytelenségével és ellenállóképességével, amely során egy többnyire bármilyen környezetben életképes növényt kapjunk (LÁNGNÉ M. M., 2006; RANDHAWA et al., 2015). A tritikálé létrehozásával már a XIX. században elkezdtek foglalkozni a tudósok, amelynél anyai szülőnek tetraploid durumbúzát (*Triticum durum*) (AABB) vagy hexaploid közönséges búzát (*Triticum aestivum*) (AABBDD), apai szülőnek pedig diploid rozst (RR) használtak. 1875-ben Wilson angol botanikus létre is hozta az első steril F1 tritikálé hibridet. Megemlítendő, hogy akkoriban az amerikai Carman, a német Rimpau és az ausztrál Farrer is dolgoztak hasonló kísérletben (KISS Á. 1968; RADICS L. 1994; AMMAR et al., 2004).

2.9. Évelő nemzetséghibridek

Azévelő tulajdonság, ami lehetővé teszi, hogy az adott növény a vegetációs idő lezárultával nem pusztul el, hanem a talajszint alatt található részeiből újra sarjad, genetikailag öröklődő tulajdonság. Az egynyári ésévelő növények keresztezésével létrehozott utódpopulációjában újra megjelenik azévelő tulajdonság, sokszor más agronómiailag hasznos tulajdonság kíséretében. A Sudárka búza (2000, Martonvásár), amit őszi búza és tarackbúza hibrid keresztezésével hoztak létre. Ez a növény amfidiploid, ami azt jelenti, hogy egy olyan faj- vagy nemzetségkeresztezésből származó hibrid, aminek megkettőződött a kromoszómaszerelvénye, tehát a különböző eredetű genomokból kettőt-kettőt tartalmaz, így diploidként viselkedik a meiózisban. 56 kromoszómával és 16 pár *Agropyron elongatum* kromoszómával rendelkezik ($2n = 56 = AABBDDJJ$). A Sudárka a következő tulajdonságokkal rendelkezik: rezisztens a levélrozsával és lisztharmattal szemben, magas fehérjetartalommal rendelkezik, fertilis ésévelő (LÁNGNÉ M. M. 2009; SEPSI és mtsai 2008).

Az idegen fajú hibridizáció egyik hátulütője, hogy a keresztezés eredményeképpen a hasznos tulajdonságok mellett számos más, agronómiailag kedvezőtlen tulajdonság is átkerül az utódnemzedékbe, melyek visszakeresztezéssel történő kitirálása nagyon fáradságos, ha nem lehetetlen feladat. Mivel a Sudárka „apja” az *Agropyron elongatum* ami alapvetően egyévelő, vad gyomnövény, igencsak lerontotta a búza tulajdonságait, ami miatt a Sudárka mondhatni egy átmenet lett búza és egyszerű fű (gyom) között.

A probléma megoldását olyan növények alkalmazása jelentheti apai partnerként, melyek kromoszómaikon még hordozzák azévelősség kialakításáért felelős géneket, azonban számos más, kedvezőtlen agronómiai tulajdonságok meghatározásáért felelős gének, a domesztikáció során már ki lettek szorítva. Ilyen alternatíva lehet azévelő rozs is, mely mindévelősség, mint keresztezhetőség szempontjából a legpotenciálisabb partnerjelölt lehet,évelő faj és nemzetséghibridek kialakításához.

2.10. A búza és a rozs hibridjei

Az első tritikálé hibrideknek többnyire sterilek voltak, aszott szeműek és igen instabil volt a meiózis. A problémát az okozta, hogy mivel az eltérő fajba tartozó szülők különböző számú és szerkezetű kromoszómákkal rendelkeznek, ezért meiózis során nem voltak képesek párt alkotni ugyanúgy, mint a haploid növények sem (RILEY és LAW 1965; SHARMA

1995). Ezért megoldásként, az őszi kikericsből (*Colchicum autumnale*) izolált colchicin nevű hatóanyagot használtak fel a kromoszómák duplikálására, a fertilitás növelése céljából. Ez a hatóanyag hozzákapcsolódik a tubulin fehérje alegységeihez, amely során megzavarja a mikrotubulusok polimerizációját és megakadályozza, hogy a megkettőződött kromoszómák a sejt ellentétes pólusaiba vándoroljanak. Következtesképpen a mitózis folyamata abbamarad, a kialakuló utódsejt pedig dupla kromoszómával fog rendelkezni (BLAKESLEE és AVERY 1937).

A magyar tritikálé kutatások Kiss Árpád (1916-2001) nevéhez kapcsolódnak, aki létrehozta az első magyar szekunder hexaploid tritikálét (No. 30) 1960-ban, ami egyben az első, köztermesztésre bejelentett fajta is volt. Ehhez a Fleischmann 481 búza x rozst ($2n=56$) kétszeresen keresztezte a *Triticum turgidum* x rozst ($2n=42$) búza-rozs amfiploidokkal (KISS 1968)

A tritikálé mintájára létrehozott növények lényege, hogy olyan fajtát kapjunk, ami ötvözi a búza kiváló beltartalmi értékeit, termőképességét és a rozst kitűnő alkalmazkodóképességét, télállóságát, betegség-ellenállóságát, valamint gyomelnyomóképességét. Mindemellett olyan területen lehessen termesztani, ahol egyrészt a két szülő növényt nem termesztik (csernozjom, jobb erdőtalaj, gyengébb homoktalajok), valamint fedést biztosítson az erózió és defláció elleni védelemben, amiért cél az évelősség és a többéves monokultúrás tolerancia kialakítása.

A tritikálét jobb minőségű homoktalajokon, közép-kötött csernozjom-, barna erdő-, öntés-, nem túl kötött réti talajokon érdemes termesztani, emellett szikes és erodált talajokon is jól termesztendő, ezért célszerű a fenntartható mezőgazdaságban használni (PEPÓ P. 2019c). SZAKÁCS É. és mtsai (2014) egy olyan búza-évelő rozst (*Secale cereale*) hibrid vonalakat vizsgáltak, melynek célja, hogy rendelkezzen az évelő rozst hasznos tulajdonságaival (rezisztencia, szárazságtűrés, évelő jelleg, igénytelenség, stb.)

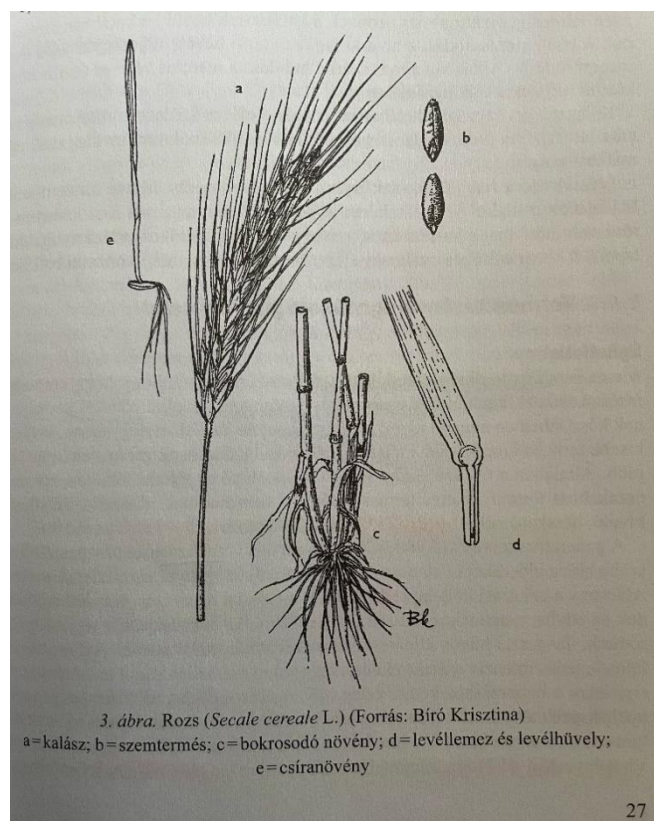
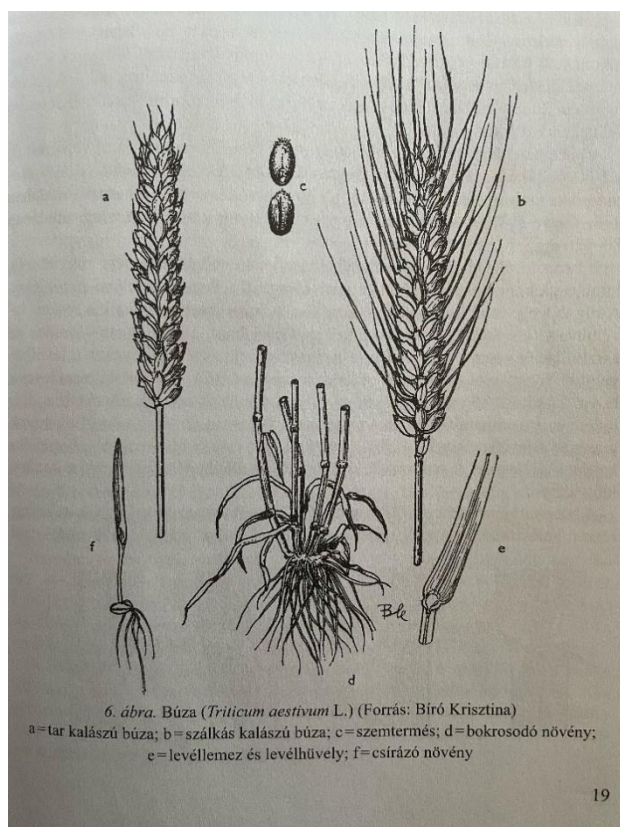
Elképzeltető, hogy évelő rozst, apai partnerként történő felhasználásával olyan tritikáléhoz hasonló hibrideket is elő lehet állítani, ahol az értékes rozst tulajdonságok mellett az évelés, mint érték adó tulajdonság is meg tud jelenni, ezáltal mindemellett, hogy a domesztikált anyai partner agronómiaailag hasznos a beltartalmi és termés mennyiségi tulajdonságai kevésbé romlanak le.

Tulajdonságok	Őszi búza (<i>Triticum aestivum</i>)	Tritikálé (x <i>Triticosecale</i>)	Rozst (<i>Secale cereale</i>)
---------------	---	--	------------------------------------

Termésátlag	4,5-5,5 t/ha	3,6 t/ha	2,9 t/ha
Talajigény	igényes, csernozjom talajok	búzánál igénytelenebb, jobb minőségű homoktalaj, gyenge csernozjom, baran erdőtalaj, szikes és erodált talaj	igénytelen, savanyú homoktalaj, N szegény
Alkalmazkodóképesség	jó télállóság, adaptációs készség	kiváló alkalmazkodóképesség, igénytelenség (meleg-, száraz-, hidegtolerancia), betegség-ellenállóság, gyomelnyomóképesség	kiváló fagytűrő-, alkalmazkodó-, szárazságtűrő, ellenállóképesség, gyomelnyomóképesség
Viaszréteg	vékony	vastag	vastag
Bojtosgyökérzet	1-2 m	jól fejlett gyökérzet	legerősebb
Átl. Szár magasság	80-120 cm	100-150 cm	90-150 cm
Megdőlés veszély	nincs	van	van
Virág/kalász	3-5 virág	3-5 virág	2-3 virág
Termékenyülés	öntermékenyülő	többnyire öntermékenyülő	idegentermékenyülő
Szemteremés	gömbölyűbb, kisebb	búzánál vékonyabb,	csupasz, karcsúbb, hosszabb
Ezermagtömeg	40-45 g	36-55g	30-34g
Szem keményítőtartalma	65-70%	65-75%	78-85%
Szem fehérjetartalma	11-19%	12-16%	10-12%
Valódi sikértartalom	van	van	nincs
Csírázás megindulása	+0,5/-1°C	1-2 °C	0-1 °C
Csírázás opt. Hőm.	15-20 °C	15-20 °C	15-25 °C
Kedvelt éghajlat	mérészkelt égöv	hűvös, csapadékos	hűvös, csapadékos
Télállóság hótakaróval	-25/-28 °C	-22/-27 °C	-25/-32 °C
Télállóság hótakaró nélkül	-20/-22°C	-18/-22 °C	-20/-25°C
Vernalizációs igény	van	van	van
Vízigény	480-550 mm	390-490 mm	380-450mm
Transzspirációs együttható	300-350 l/1kg szárazanyag	310-370 l/1kg szárazanyag	320-380 l/1kg szárazanyag
Monokultúra	érzékeny, allelopátia	2-3 év	legjobban túri, 4-5 év
Fajlagos tápanyagigény			
N	2,0-3,0	2,5	2,5 kg/100kg termés
P₂O₅	1,0-1,5	1,2	1,2
K₂O	1,8-2,5	2,4	2,6

CaO		0,7	0,8
Érzékenység	felfagyásra	megdőlésre	megdőlésre
Tápanyagigény	tápanyagigényes, trágyázást meghálálja	túlzott nitrogénellátás gyengíti a szárszilárdságot	túlzott nitrogénellátás gyengíti a szárszilárdságot

3. táblázat: A búza, tritikálé és rozs tulajdonságainak összehasonlítása (saját szerkesztés) (PEPÓ P. 2019b,c)



1. ábra: Búza és rozs növények összehasonlítása. (PEPÓ P. 2019b,c)

2.11. A colchicin általi genomduplikáció

A colchicin egy népszerű mitotikus gátlószer, amely poliploiditást okoz a növényekben, ami elengedhetetlen a növénytermesztésben annak érdekében, hogy olyan új növényfajtákat hozzanak létre, amelyek több kívánatos tulajdonságokkal rendelkeznek. Ilyen tulajdonság lehet a nagyobb növényméret és -életerő, a levélvastagság, a nagyobb és vastagabb szirmok, az intenzívebb színű levelek és virágok, a hosszú életű virágok, a tömörség és a helyreállított termékenység. A kromoszóma duplikáció megváltoztathatja a növekedési szokásokat, az ivaros mintázatot, a sterilitást, és esetenként fokozza a tetraploid növények hidegtűrő képességét, amellyel, hogy számos vegetatív és reprodukzív szervet megnagyobbít, amit más

néven „gigász effektusnak” hívnak. Bár ez természetes úton is megtörténhet, a poliploidia mesterséges előidézésére általában mitotikus gátlókat, mint például colchicint használnak.

Számos alkalmazási technika, beleértve a mártás/áztatás, csepegtetés és szórás használható a poliploidia előidézésére különböző növényi szervekben, beleértve a magokat, apikális merisztémákat, virágbimbókat és gyökereket (Manzoor A., et al 2019).



6. ábra: Colchicin kezelés a kísérleti gabonanövényeken (saját kép).

2.12. Az évelő gabonafélékben rejlő perspektívák

Az évelő hibrid gabonafélék ígéretes lehetőségeket kínálnak a fenntartható mezőgazdaság számára, mivel megbízható és rugalmas élelmiszerforrást biztosítanak. A búzának és a rozsnek a keresztezéséből származó hibrid gabonaféle, a tritikálé más gabonafélékkel szemben előnyökkel rendelkezik szívóssága, alkalmazkodóképessége, betegségekkel szembeni ellenálló képessége és szárazságtűrése miatt. A tudósok a tritikálé és az évelő fűfélék nemesítésével olyan hibrid gabonafélék kifejlesztését vizsgálják, amelyek minden évben képesek újranoíni. Ez csökkenthetné a talajromláshoz és erózióhoz vezető intenzív gazdálkodási gyakorlatok szükségességét, miközben az üvegházhatású gázok kibocsátását is

mérsékelné. Az évelő hibrid gabonafélék csökkenthetik a műtrágyák és növényvédő szerek szükségességét, és több szénem tárolhatnak a talajban, ami segíthet az éghajlatváltozás elleni küzdelemben. További kutatásokra van azonban szükség a nagyüzemi termelés megvalósíthatóságának felméréséhez és az esetlegesen felmerülő kihívások kezeléséhez.

Az évelősség fontos szempontot jelent a nem kívánatos gyomfajok visszaszorításában is. Ökológiai fenntarthatóság szempontjából hazánkban is gyakran telepítenek évelő gyepet, amelyre általában a szántóföldi művelés alól kivett, alternatív, fenntarthatóan hasznosítható területeket használnak (TÖRÖK P. 2013).

3. ANYAG ÉS MÓDSZERTAN

3.1 Növényanyag

A keresztezési partnereket az ELKH Agrártudományi Kutatóközpontjának Mezőgazdasági intézetében, félszabadföldi körülmények között 1,2 literes cserépben, és a Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem, Genetika tanszékének kísérleti terén szabadföldi körülmények között neveltük fel. Az anyai partnerek kasztrálása után a megporzást, az embriómentést és a növények nevelését az ATK Biológiai Erőforrások Osztályának munkatársai végezték. Magam a Colchicin kezelésbe, és a kezelések utáni citométeres genomméret meghatározások folyamataiba kapcsolódtam be.

Az anyai partnerként az Mv9 martonvásári búzafajtát, és a T8 tavaszi hexaploid tritikálét, apai partnerként a Hódosné Kotvics Gizella által a 70-es években létrehozott Perenne évelő rozst, és az eredeti populációból Dr. Tarnawa Ákos és Dr. Polgári Dávid által szelektált Keleti 1 és Report évelő rozsokat alkalmaztuk.

A szülői partnerek:

Perenne: Az első Magyarországon köztermeztetésben elismert évelő rozs fajta, amit Hódosné Kotvics Gizella állított elő a Kisvárdai rozs *Secale cereale* $2n=14=RR$, és a Kaukázusban őshonos évelő hegyi rozs, *Secale montanum* $2n=14=RR$ keresztezésével. A fajta, melyet kívánatos tulajdonságai miatt széles körben termesztenek Magyarországon, erős száráról, valamint a téli fagyokkal és betegségekkel szembeni ellenálló képességéről ismert. A Perenne évelő rozs által termelt szemek általában közepes méretűek és kiváló sütési tulajdonságokkal rendelkeznek, ezért a pékek körében kenyérbélgészítéshez szívesen választják.

Report: Diploid évelő rozsfajta, amelyet szintén a Hódosné Kotvics Gizella által a 70-es években előállított populációból származik. A Report jellemzője, hogy legjobban megőrizte a vad szülőjének jellemző tulajdonságait. Az évelő rozsfajták közül ennek van a legjobb megújulóképessége és a legjobb betegségellenállósága, azonban szemtermésmérete és alacsony hozama mellett a törékeny kalászorsója miatt csak szálastakarmányként jöhet számításba. Előnye viszont, hogy a többé évelő rozshoz képest 1-2 héttel korábban virágzik.

A Keleti 1: Diploid évelő rozs egy őszi rozsfajta, amit Dr. Tarnawa Ákos és Dr. Polgári Dávid szelektált a Hódosné Kotvics Gizella által létrehozott évelő rozs populációból. A Perennénél jobb regeneráló képesség, erősebb szár, nagyobb szemtermésméret, és ebből kifolyólag nagyobb termékenység jellemzi.



2. ábra: **Keleti 1** (saját kép, 2022.03.07., Martonvásár).

T8: A T8 tritikálé egy hexaploid tavaszi tritikálé fajta, a Martonvásári fajtagyűjteményből. Koraisága, nagyméretű robusztus kalászvirágzata, jó kasztrálhatósága, és idegen termékenyülésre való kiváló fogékonysága miatt gyakran alkalmazzák anyai partnerként nemzetségkeresztezésekhez. A tritikálé növény a búza és a rozs amphiploidja, amely mindkét növény kívánatos tulajdonságait egyesíti. Az eltérő szülőktől származó kromoszómakészletével olyan egyedi tulajdonságokkal rendelkezik, amelyek révén jól alkalmazkodik a különleges környezeti feltételekhez.

T8xK1: A Keleti1 rozs és a T8 hexaploid tritikálé keresztezésével egy olyan új hibrid létrehozása volt a cél, amely egyesíti a két szülő kedvező tulajdonságait, vagyis nagy terméspotenciállal, betegségekkel és kártevőkkel szembeni ellenálló képességgel, szárazság- és fagytűréssel, valamint a sós talajviszonyok között való növekedési képességgel rendelkezzen.

Az előállított T8xK1 hibrid gabona közel kétszerese szemmérettel rendelkezik az évelő rozshoz képest. Fertilitása elmarad a tritikálétól, de utódai később lehetnek akár fokozottabban fertilizsek is.



3. ábra: **T8xK1:** (saját kép, 2022.03.07., Martonvásár).

Mv9Kr1: Martonvásári búza, melyet Dr. Lángné Molnár Márta és munkatársai hoztak létre az Mv9 búzafajta és a Chinese spring kínai tavaszi búza többszöri visszakeresztésével. A Mv9Kr1 legfőbb jellemzője, hogy a kínai tavaszi búzához hasonlóan rendkívül jó fogékonyságot mutat az idegen fajokkal való termékenyülésre.



4. ábra: **Mv9Kr1: Hexaploid martonvásári búza** (saját kép, 2022.03.07., Martonvásár).

Mv9Kr1xK1:

Az Mv9Kr1xK1 egy hibrid gabonafajta, amelyet Magyarországon két jól ismert gabonafajta, a Martonvásári 9 búza és a Keleti 1 rozs keresztezésével fejlesztettek ki. A keresztezés célja az volt, hogy olyan növényt hozzanak létre, amely egyesíti a két szülő növény kívánatos tulajdonságait, valamint magas fokú fertilitással és évelőséggel rendelkezzen.



5. ábra: **Mv9xK1**: (saját kép, 2022.03.07., Martonvásár).

Mv9xReport:

Az Mv9xReport keresztezés egy teljesen steril növényt eredményezett, azonban colchicin kezeléssel sikerül néhány szemtermést előállítani, melyek vizsgálata jelenleg is folyik. A keresztezés célja az évelés komplex tulajdonságának, a magas termőképességnek és sütőipari minőségnek a kombinálása volt.



7. ábra: **Mv9xReport:** (saját kép, 2022.03.07., Martonvásár).

FL Synt: Az FL Synt rozs egy viszonylag új egynyári rozsfajta, amely jól alkalmazható az Egyesült Államok déli részén, és a szántóföldi kísérletekben jó teljesítményt mutatott. Különlegességét öntermékenyülő tulajdonsága és tetraploiditása adja, ami miatt kétszeres genommérettel rendelkezik egy átlagos rozs növényhez képest. Nagy terméshozamú, jó betegségekkel szembeni ellenálló képességgel rendelkező fajta, amelyet úgy fejlesztettek ki, hogy kiváló minőségű, őrlésre és sütésre alkalmas szemet termeljen.

Az FL Synt rozst a fenntartható mezőgazdaság szempontjából fontos növénynek tekintik, mivel képes javítani a talaj egészségét, csökkenteni a talajeróziót, és jövedelmező termést biztosít a gazdálkodók számára. Emellett fontos termény a desztillált szeszes italok, például a whisky és a vodka előállítására szempontjából is.

Mv9xSynt:

A hexaploid martonvásári búza és a tetraploid Slynt rozs keresztezéséből létrehozott hibrid gabona feltehetően pentaploid kromoszómakészlettel rendelkezik, ezért az F1 nemzedék 100%-ban steril. A colchicin kezelés eredményeképpen 2 szemtermést sikerült előállítani, melyek tesztelése jelenleg is zajlik.



8. ábra: **Mv9xFL Slynt:** (saját kép, 2022.03.07., Martonvásár).

3.2. Hibrid növények nevelése

A megporzások után a szemkezdeményekben fejlődő embriókat a 14 napos szemkezdemények felszíni sterilizálását követően az embriókat kimentették, majd steril körülmények között N6D növényregeneráló táptalajon néhány leveles növénykékké nevelték.

Meggyökeresedést követően a fiatal növényeket 0,5 literes pálmacserepekben nevelték a Specialmix Kft. kókuszrost alapú Tetőkertföld nevezetű termesztőközegében, Sanyo növénynevelő inkubátorban 16/8 óra világos/sötét megvilágítás mellett. Nappal világos periódusban 15 °C, sötét periódusban pedig 12 °C hőmérséklet mellett.

3.3. Fiatal növények genomduplikációja

A bokrosodási fázisban lévő növények gyökereit kimosták a termesztőközezből, majd 5 cm-re történő visszavágást követően 0,05% colchicint és 5% DMSO-t tartalmazó oldatban 8 órán keresztül áztatták, ügyelve arra, hogy a bokrosodási csomópont a folyadék szintje alá kerüljön. A kezelés után a növények gyökereit 1 órán át folyó csapvíz alá tartva mentesítették a fölösleges colchicintől, majd a növényeket 30%-os Lamardor csávázó oldatba mártást követően egyesével 0,5 literes pálmacserepekbe ültették, a Speciálmix Kft. Kókuszrost alapú tetőkertföld nevezetű szerves termesztőközegébe. Ezt követően a növényeket üvegházban nevelték a genomméret citométeres ellenőrzéséig.

3.4. Csíranövények genomduplikációja

A csávázott szemterméseket 24 órán át 4°C -on 0,2 mg/l gibberellin oldatban történő áztatással aktiválták, majd a csírázó szemkezdeményeket 1-5 mm koleoptil hosszúságnál 0,05% colchicint és 5% DMSO-t tartalmazó oldatban 8 órán keresztül áztatták, majd 1 órán át tartó folyó csapvízzel történő kimosást követően nedves szűrőpapíron fitotroni kamrában inkubálták, 12/12 óra világos/sötét fényperiódus, és 18/15°C hőmérséklet mellett.

A regenerálódó növénykékeket 4 cm átmérőjű jiffy tőzegkorongokba ültették, majd akklimatizációt követően a növényeket 0,5 literes pálmacserepekbe ültették, a Speciálmix Kft. Kókuszrost alapú tetőkertföld nevezetű szerves termesztőközegébe. Ezt követően a növényeket üvegházban nevelték a genomméret citométeres ellenőrzéséig.

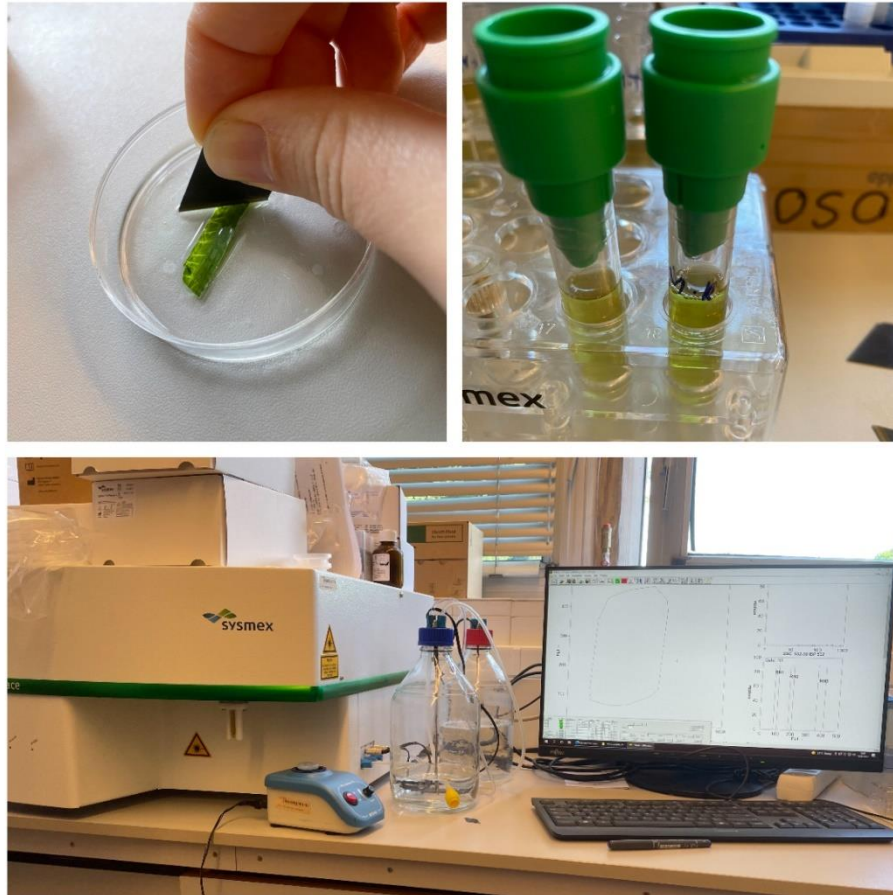
3.5. Áramlásos citometria

A kezelés után életben maradt és regeneráló növények genomméretét áramlásos citometria alkalmazásával (Sysmex, CyFlow Space) határoztam meg, kontrollként az anyai partnerek mintáit felhasználva.

A mérés előkészítése: A fiatal levelekből 1 cm² méretű darabot 500 µl Nuclei Extraction Bufferrel (Sysmex, UV Precise P Kit) (3. ábra). roncsolás nélkül feldaraboltam. A küvettába leszűrt mintához adtam 2 ml Staining Buffert, és 5 perc várakozás után tettem a citométerbe. A detektorok kalibrálását követően a citométer szoftvere (FloMax) megmérte a minta sejtmagjainak a DNS tartalommal arányos fluoreszcenciáját. (4. ábra).



9. ábra: A flow citométerhez használt sejtfeltáró- és színező puffer oldatok (CyStain UV Precise P), valamint a szűrőn keresztül a küvettába juttatott növényi minták (saját kép).



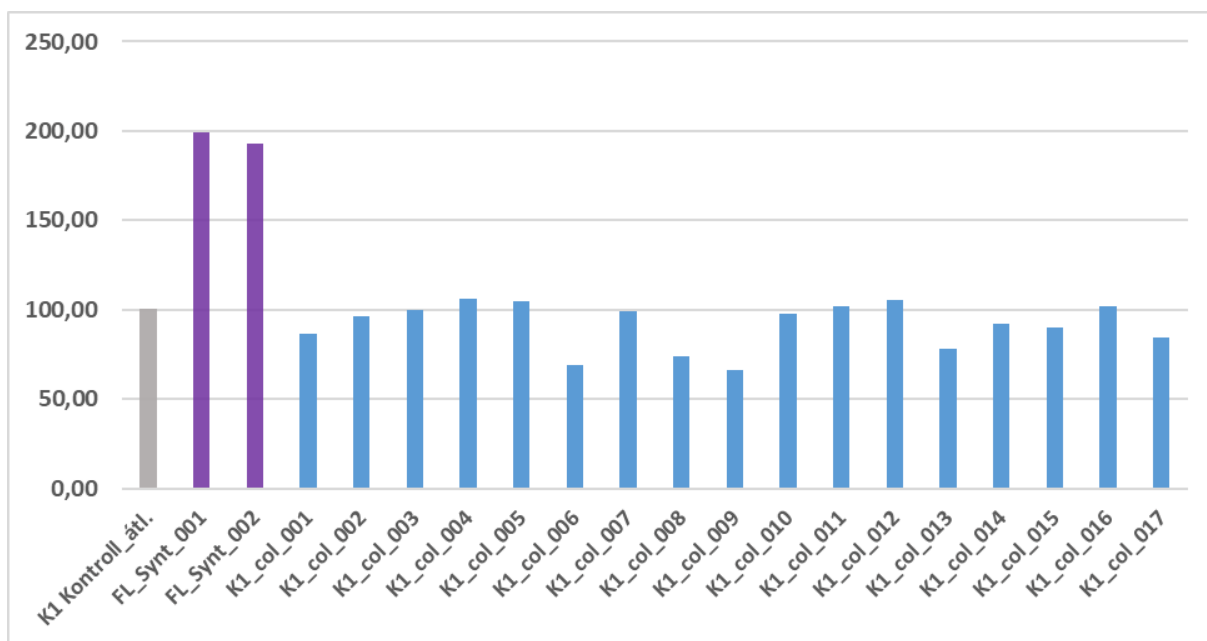
10. ábra: Növényi levélminta bevagdosása, küveták, flow citométer műszer és számítógépes mérése (saját kép).

4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

4.1. Csíranövények genomduplikációjának ellenőrzése

A Genomduplikáció sikerességének ellenőrzésére Flow citometriás eljárással meghatároztuk a csíranövénykorban colchicin kezeléssel átesett növények genomméretét, melyeket minden esetben 1 cm² méretű fiatal levélből előállított sejtmagizolátumból határoztunk meg. A detektort a Keleti1 évelő rozs kontroll megmérése után a hisztogramon a minta sejtmagjainak a DNS tartalommal arányos fluoreszcenciáját az x tengely 100-as értékhez kalibráltuk. Az eljárás alkalmazhatóságát néhány FL Synt közismerten tetraploid rozs növény mintájának megméréssel ellenőriztük.

A 17 vizsgált növény mintájának megmérése után egyetlen esetben sem kaptunk a Keleti1 évelő rozs kétszeresének megfelelő genomméretet, holott a 2 ellenőrzésre használt FL Synt növény mintája, a tetraploidnak megfelelő tartományba esett, igazolva az eljárás alkalmazhatóságát. (11. ábra)



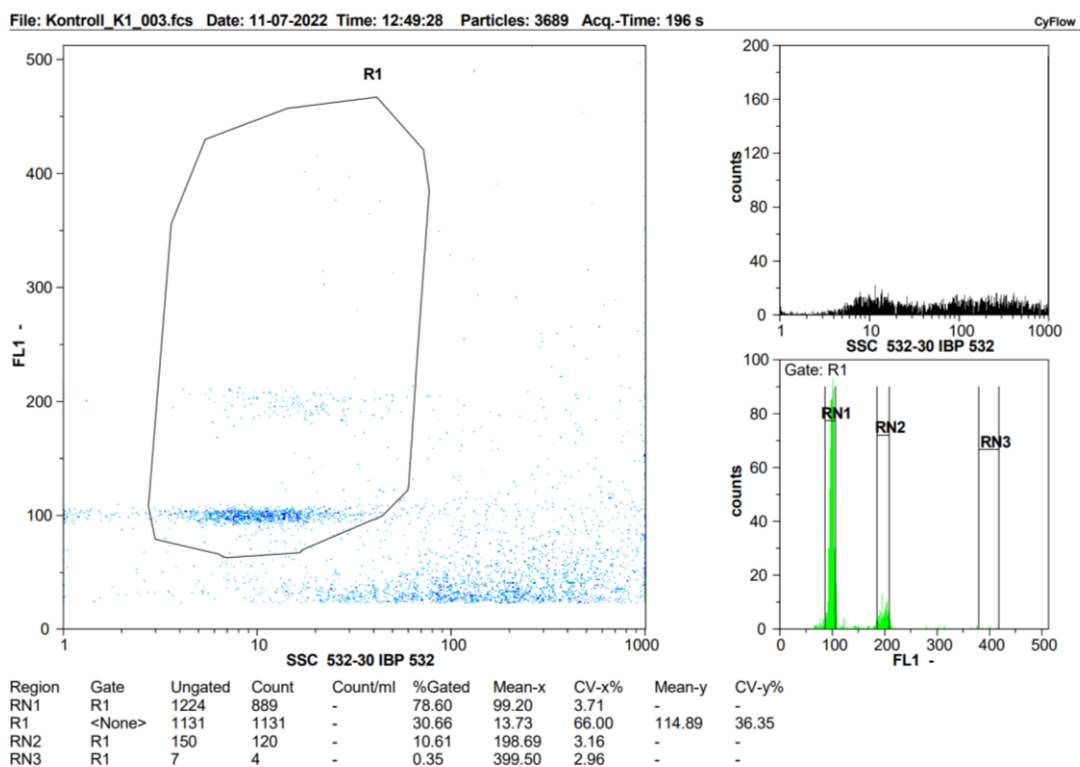
11. ábra: A colchicin kezelt Keleti 1 csíranövények G1 mérései összehasonlítva a K1 kontroll átlagával.

A 17 mintából 7 esetben a diploid kontrollhoz viszonyítva 15% vagy annál nagyobb mértékű negatív eltérést kaptunk, (4. tábla) ami a rendelkezésünkre álló szakirodalmi adatok alapján

nem lehetséges, és az esetleges genomméret csökkenésre semmilyen fenotípusos jel nem utalt. A probléma okát, későbbiekben a sejtmagizolátum és a jelölöpuffer arányának a protokollban meghatározottól való eltéréseire vezettük vissza.

	G1	G2	Eltérés_G1	Eltérés_G2	Következtetés
Keleti1 Kontroll_001	100,74	202,39	-5,1%	-4,0%	diploid
Keleti1 Kontroll_002	103,49	203,47	-2,5%	-3,5%	diploid
Keleti1 Kontroll_003	99,20	198,69	-6,6%	-5,7%	diploid
Keleti1 Kontroll_004	99,79	200,66	-6,0%	-4,8%	diploid
Kontroll_átlag	100,81	201,30	-5,1%	-4,5%	-
FL_Synt_001	199,49	391,14	87,9%	85,5%	tetraploid
FL_Synt_002	192,76	376,25	81,6%	83,5%	tetraploid
K1_col_001	86,22	169,51	-18,8%	-19,6%	mérési_hiba
K1_col_002	96,62	191,36	-9,0%	-9,2%	diploid
K1_col_003	99,90	198,95	-5,9%	-5,6%	diploid
K1_col_004	106,17	210,81	0,0%	0,0%	diploid
K1_col_005	104,36	208,98	-1,7%	-0,9%	diploid
K1_col_006	69,18	137,40	-34,8%	-34,8%	mérési_hiba
K1_col_007	99,26	196,22	-6,5%	-6,9%	diploid
K1_col_008	74,05	147,80	-30,3%	-29,9%	mérési_hiba
K1_col_009	65,87	120,99	-38,0%	-42,6%	mérési_hiba
K1_col_010	97,97	198,78	-7,7%	-5,7%	diploid
K1_col_011	101,57	202,25	-4,3%	-4,1%	diploid
K1_col_012	105,21	211,66	-0,9%	0,4%	diploid
K1_col_013	78,18	157,13	-26,4%	-25,5%	mérési_hiba
K1_col_014	92,11	184,40	-13,2%	-12,5%	diploid
K1_col_015	89,76	179,70	-15,5%	-14,8%	mérési_hiba
K1_col_016	101,91	204,47	-4,0%	-3,0%	diploid
K1_col_017	84,62	168,67	-20,3%	-20,0%	mérési_hiba

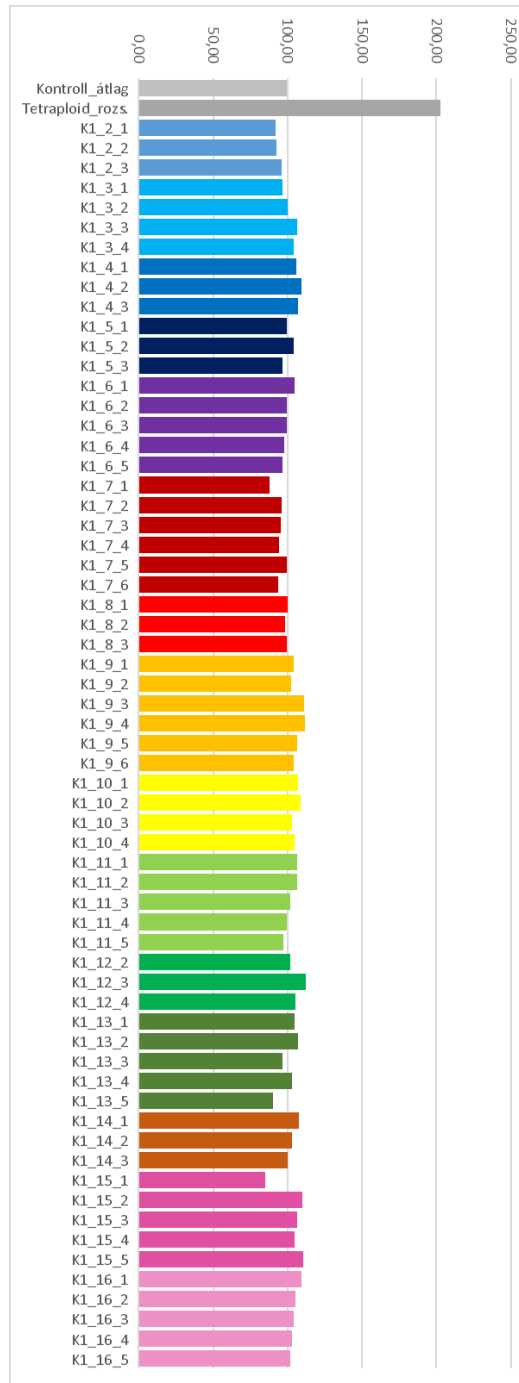
4. tábla: A colchicin kezelt Keleti 1 csíranövények excel táblázatban vezetett citogram mérései



12. ábra: Keleti 1 kontroll citogram

4.2. Fiatal növények genomduplikációjának ellenőrzése

A Genomduplikáció sikerességének ellenőrzésére szintén Flow citometriás eljárást alkalmaztunk a korábbi tapasztalatok felhasználása alapján gondosan ügyelve a sejtmagizoláló és a jelölő pufferek a protokollban megadott pontos arányára. Mivel a kezelés bokrosodás után 4-5 szálás állapotban történt, ezért az ekkor már egymástól független merisztémákból fejlődő hajtásokat tekintettük független egységeknek, így a mintavétel is száranént történt kalászoláskor, a fiatal zászlóslevél 1 cm²-es szegmentumából izolált sejtmagokból, melyek esetében a kis fizikai távolság miatt a ploidszint szerinti sejttöszetetele általában a legnagyobb hasonlóságot mutatja kalászéval, így a zászlóslevelekben található magas tetraploid sejtarány alapján tudjuk szelektálni mely kalászokban fejlődő magokat érdemes ploidszint szerint újrászűrni tetraploid vonalak szelektálásához. A detektort a Keleti1 évelő rozs kontroll megmérése után a hisztogramon a minta sejtmagjainak a DNS tartalommal arányos fluoreszcenciáját az x tengely 100-as értékhez kalibráltuk. Az eljárás alkalmazhatóságát szintén néhány FL Synt tetraploid roznövény mintájának megméréseivel ellenőriztük.



13. ábra: A fiatal, colchicin kezelt Keleti 1 növények G1 mérései összehasonlítva a K1 kontroll átlagával

A gondosan betartott pufferarányoknak köszönhetően mindössze két minta, a Keleti 1 13/5 és a 15/5 mutatott 10%-nál nagyobb eltérést, mindkettő negatív irányba, ezért ezeket a méréseket pontatlannak ítéltük, azonban a többi 62 minta esetében a mért érték minden esetben a módszer felbontóképességének megfelelő hibahatáron belülre esett, így azokat hitelesnek fogadtuk el.

Sajnos viszont a 61 hitelesnek elfogadott kezelési esemény egyike sem utalt sikeres genomduplikációra. Minden relatív fluoreszcencia érték tökéletes diploid genomméretnek felelt meg, miközben a módszer ellenőrzésére szolgáló tetraploid FL Synt növényből izolált sejtmagpreparátum egyértelműen a kétszeres genomméretnek megfelelő relatív fluoreszcencia értéket adott.

4.3. Mv9Kr1 × Keleti1 keresztezésből származó utódnemzedék genomméretének meghatározása

A Mv9Kr1 × Keleti1 keresztezésből származó növények genomméretének meghatározásához először meghatároztuk a szülők relatív fluoreszcencia értékéből kalkulálható genomméretet, melyből a kisebb, a diploid élő rozs genomméretét vettük fel a hisztogram x tengelyén 100-as értéknek. A többi mérést ezekkel a detektorbeállításokkal végeztük el, így pontos képet kaphattunk a vizsgált minták a Keleti 1 rozs diploid mintáihoz viszonyított relatív genomméretről.

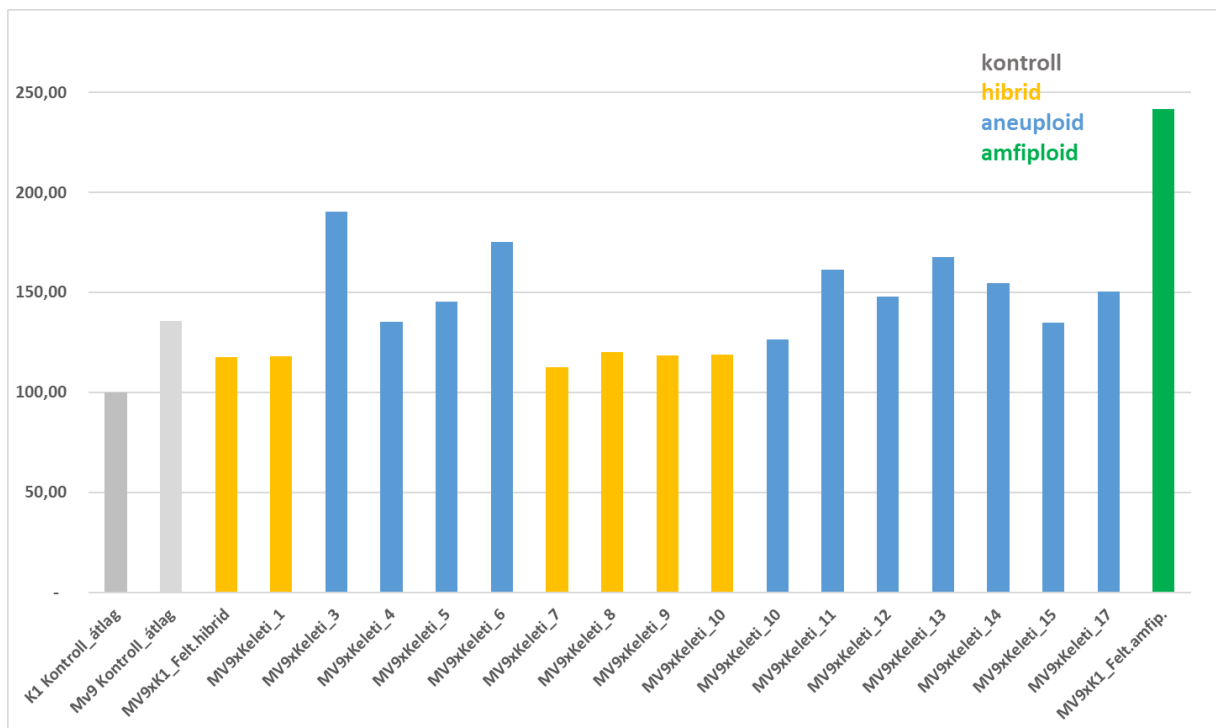
A Mv9Kr1 hexaploid búza bár alapvetően 3x annyi kromoszómával rendelkezik, mint a diploid rozs, a genommérete mindössze 35%-kal ($G_1=135,55$, $G_2=272,25$) haladja azt meg, aminek oka az eltérő kromoszómaméretben keresendő.

A szülők relatív genomméretének ismeretében meghatároztuk a hibridek várható genomméretét, amit a diploid szülők genomméretének a felének az összegéből kalkuláltunk, s mivel a fejlődő növények a fejlődés korai szakaszában bokrosodás állapotában colchicin kezeléssel is átestek, ezért meghatároztuk a várható amfiploid genomméretet is, amit mivel mindkét szülő teljes kromoszómakészletével rendelkezniük kell, a szülői genomméret összegeként határoztuk meg.

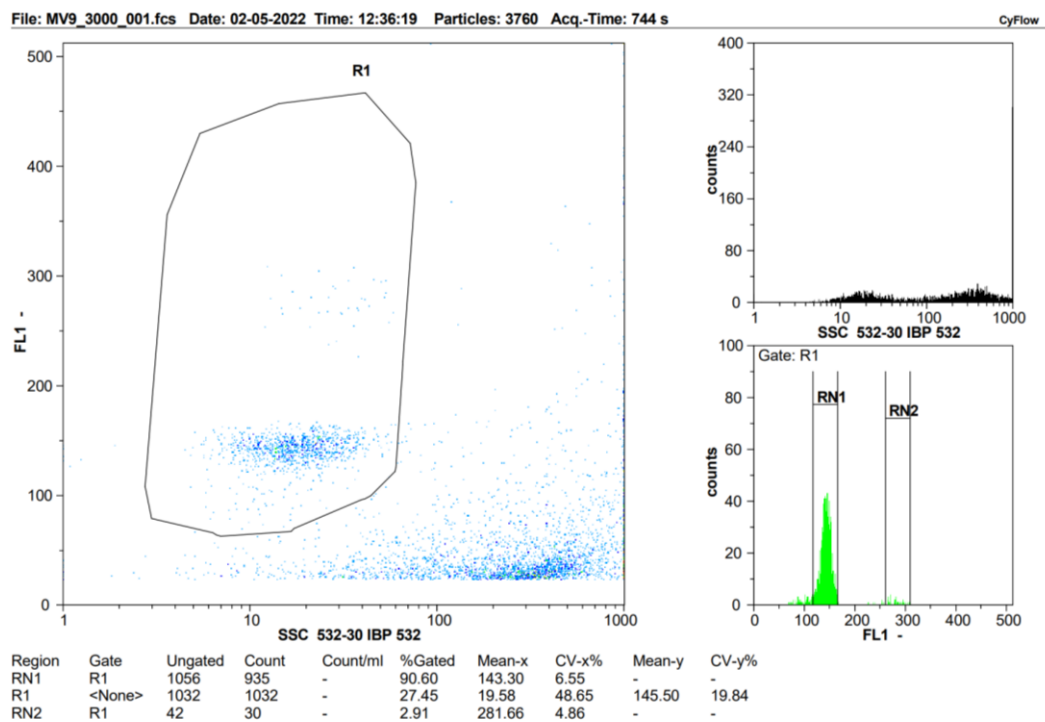
	G1	G2	Eltérés_G1	Eltérés_G2	Következtetés
Keleti_kontroll_001	97,25	191,29	-2,6%	-3,0%	diploid
Keleti_kontroll_002	102,34	204,18	0,02	3,6%	diploid
Keleti_kontroll_004	100,07	195,94	0,00	-0,6%	diploid
Kontroll_átlag	99,89	197,14	0,0%	0,0%	-
MV9_002	123,97	249,09	-8,5%	-8,5%	diploid
MV9_003	139,38	285,99	2,8%	5,0%	diploid
MV9_3000_001	143,30	281,66	5,7%	3,5%	diploid
Kontroll_átlag	135,55	272,25	0,0%	0,0%	-
MV9xK1_Felt.hibrid	117,72	234,69	0,0%	0,0%	hibrid
MV9xK1_Felt.amfip.	241,69	483,78	0,0%	0,0%	amfiploid
MV9xKeleti_1	117,83	200,75	0,1%	-14,5%	hibrid
MV9xKeleti_3	190,47	371,76	61,8%	58,4%	aneuploid
MV9xKeleti_4	135,36	271,26	15,0%	15,6%	aneuploid
MV9xKeleti_5	145,50	284,20	23,6%	21,1%	aneuploid
MV9xKeleti_6	175,17	347,83	48,8%	48,2%	aneuploid
MV9xKeleti_7	112,44	212,69	-4,5%	-9,4%	hibrid
MV9xKeleti_8	120,06	247,12	2,0%	5,3%	hibrid
MV9xKeleti_9	118,27	224,92	0,5%	-4,2%	hibrid
MV9xKeleti_10	118,67	235,02	0,8%	0,1%	hibrid
MV9xKeleti_10	126,53	246,81	7,5%	5,2%	aneuploid
MV9xKeleti_11	161,50	323,13	37,2%	37,7%	aneuploid
MV9xKeleti_12	147,87	290,25	25,6%	23,7%	aneuploid
MV9xKeleti_13	167,69	321,45	42,5%	37,0%	aneuploid
MV9xKeleti_14	154,48	308,40	31,2%	31,4%	aneuploid
MV9xKeleti_15	134,64	276,19	14,4%	17,7%	aneuploid
MV9xKeleti_17	150,28	300,13	27,7%	27,9%	aneuploid

5. tábla: A Mv9Kr1×K1 excel táblázatban vezetett citogram mérései összehasonlítva a K1 és a Mv9Kr1 citogram mérés adataival

Eredményeink azt mutatták, hogy a relatív fluoreszcencia adatok alapján 5 növény, az 1-es, a 7-es, a 8-as, a 9-es, és a 10-es a hibrid tartományba esett, tehát a Keleti1 évelő rozs és a Mv9Kr1 búza haploid genomjainak összegével azonos méretet mutatott, míg a másik 10 minta annál jóval nagyobb méretet mutatott. Azonban egyik minta mért relatív fluoreszcencia értéke sem érte el az amfiploid esetében várt relatív genom méretet, így ezeket a növényeket aneuploid-ként határoztuk meg.



14. ábra: A Mv9Kr1×K1 növények G1 mérései összehasonlítva a K1 és a Mv9Kr1 kontroll átlagával



15. ábra: Mv9Kr1 citogram

4.4. Mv9Kr1 × Report keresztezésből származó utódnemzedék genoméretének meghatározása

Mivel a vizsgálat idejére a Report genotípusból nem állt rendelkezésre friss levélszövet ezért a Mv9Kr1 × Report keresztezésből származó növények genoméretének meghatározását a Keleti 1 és az Mv9Kr1 növények genoméretéhez viszonyítva határoztuk meg. Mivel a Report genotípus a Dr. Hódosné Kotvics Gizella által előállított populációból szelektált vad tulajdonságokat mutató vonal, ezért feltételeztük, hogy kromoszómaösszetételében és genoméretében nem tér el jelentősen az egyéb élő rosvonalaktól.

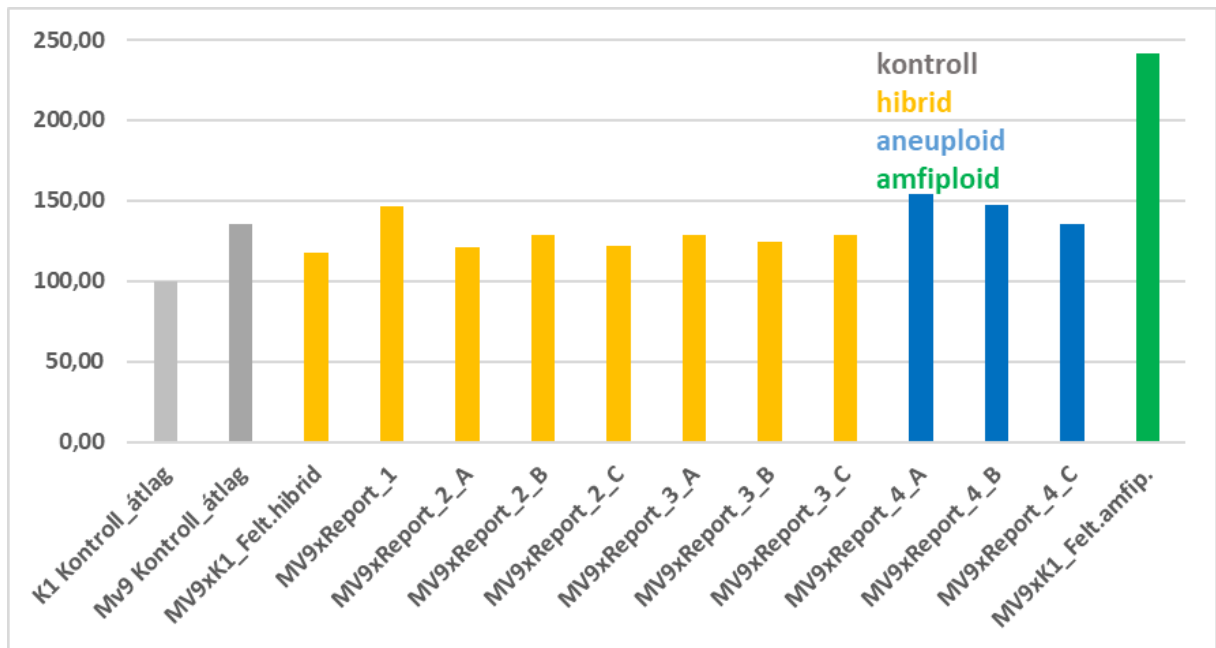
Feltételezésünket részben méréseink is megerősítették, mivel a 2 A,B,C és 3 A,B,C növények méretükben nagyon hasonlóak voltak az Mv9Kr1 × K1 keresztezésből származó hibridekhez, noha annál minimálisan nagyobb méretet mutattak.

	G1	G2	Eltérés_G1	Eltérés_G2	Következtetés
Keleti_kontroll_001	97,25	191,29	-2,6%	-3,0%	diploid
Keleti_kontroll_002	102,34	204,18	0,02	3,6%	diploid
Keleti_kontroll_004	100,07	195,94	0,00	-0,6%	diploid
Kontroll_átlag	99,89	197,14	0,0%	0,0%	-
MV9_002	123,97	249,09	-8,5%	-8,5%	diploid
MV9_003	139,38	285,99	2,8%	5,0%	diploid
MV9_3000_001	143,30	281,66	5,7%	3,5%	diploid
Kontroll_átlag	135,55	272,25	0,0%	0,0%	-
MV9xK1_Felt.hibrid	117,72	234,69	0,0%	0,0%	hibrid
MV9xK1_Felt.amfip.	241,69	483,78	0,0%	0,0%	amfiploid
MV9xReport_1	146,64	288,02	24,6%	22,7%	aneuploid
MV9xReport_2_A	120,95	226,15	2,7%	-3,6%	hibrid
MV9xReport_2_B	128,97	247,77	9,6%	5,6%	hibrid
MV9xReport_2_C	122,11	225,68	3,7%	-3,8%	hibrid
MV9xReport_3_A	128,87	253,95	9,5%	8,2%	hibrid
MV9xReport_3_B	124,38	240,41	5,7%	2,4%	hibrid
MV9xReport_3_C	128,56	255,47	9,2%	8,9%	hibrid
MV9xReport_4_A	154,44	307,20	31,2%	30,9%	aneuploid
MV9xReport_4_B	147,43	287,58	25,2%	22,5%	aneuploid
MV9xReport_4_C	135,22	264,45	14,9%	12,7%	aneuploid

6. tábla: A Mv9Kr1×Report excel táblázatban vezetett citogram mérései összehasonlítva a K1 és a Mv9Kr1 citogram mérés adataival

Ezt az eltérést valóban okozhatta a Keleti1 és a Report genotípus közötti minimális méretkülönbség a Report javára. Az 1 és a 4 A,B,C növények ezektől nagyobb relatív fluoreszcencia értéket adtak, ami aneuploid genoméretet feltételez. Feltételezhető

amfiploidnak megfelelő genomméretet egyetlen esetben sem találtunk. Ezzel az eredménnyel egybecseng az az eredmény is, hogy a felnevelt növények egyetlen kalászában sem találtunk szemterméseket, ami közvetetten igazolja a genomduplikációra tett kísérlet sikertelenségét.



16. ábra: A Mv9Kr1×Report növények G1 mérései összehasonlítva a K1 és a Mv9Kr1 kontroll átlagával

4.5. T8 × Keleti 1 keresztezésből származó utódnemzedék genomméretének meghatározása

A T8 × Keleti 1 keresztezésből származó növények genomméretének meghatározásához először szintén a legkisebbnek várt diploid évelő rozs genomméretét a 100-as értékhez kalibrálva mértük meg a növények sejtmagjainak relatív fluorszcencia értékét.

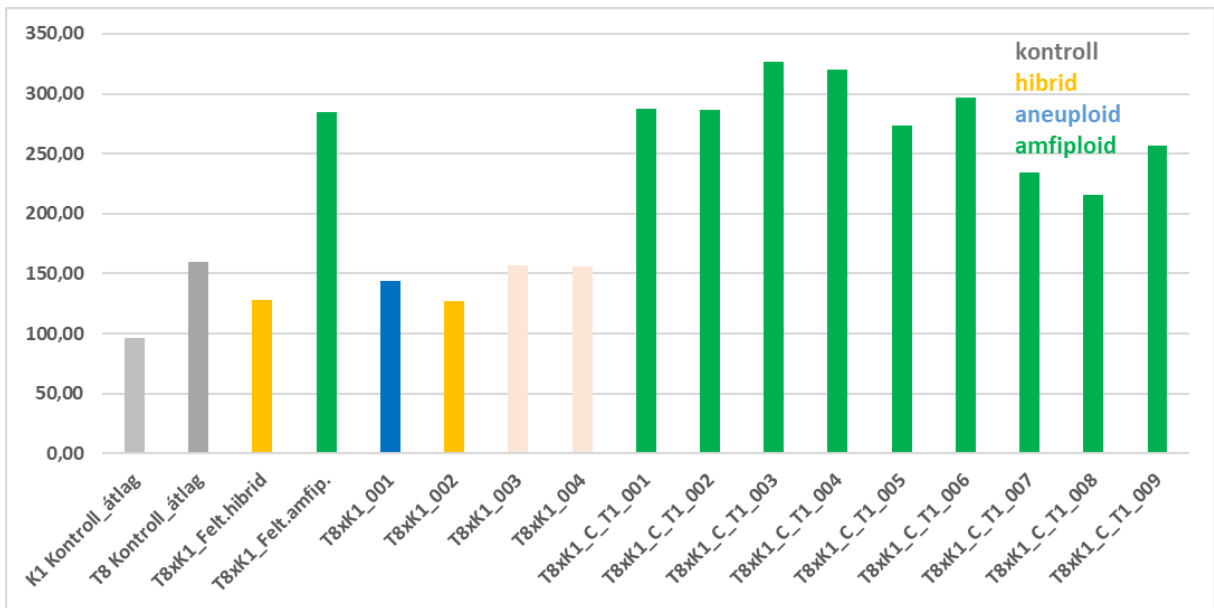
A T8 tavaszi hexaploid tritikálé 3 mintájának átlaga 60%-kal nagyobb (G1= 159,46 , G2=311,90) relatív fluoreszcencia értéket adott mint az évelő rozs diploid mintája.

	G1	G2	Eltérés_G1	Eltérés_G2	Következtetés
Kontroll_Keleti1_001	98,10	192,48	1,9%	1,6%	diploid
Kontroll_Keleti1_002	94,08	185,41	-0,02	-2,1%	diploid
Kontroll_Keleti1_003	96,64	190,48	0,00	0,5%	diploid
Kontroll_K1_átlag	96,27	189,46	0,0%	0,0%	-
T8_001	156,31	307,78	-2,0%	-1,3%	diploid
T8_002	162,77	316,25	2,1%	1,4%	diploid
T8_003	159,30	311,66	-0,1%	-0,1%	diploid
Kontroll_T8_átlag	159,46	311,90	0,0%	0,0%	-
T8xK1_Felt.hibrid	127,87	250,68	0,0%	0,0%	diploid
T8xK1_Felt.amfip.	284,18	558,46	0,0%	0,0%	amfiploid
T8xK1_001	143,59	282,35	12,3%	12,6%	aneuploid
T8xK1_002	127,09	285,24	-0,6%	13,8%	hibrid
T8xK1_003	157,25	319,43	23,0%	27,4%	kaszt. Hiba
T8xK1_004	156,04	311,20	22,0%	24,1%	kaszt. Hiba
T8xK1_C_T1_001	287,38		124,7%		amfiploid
T8xK1_C_T1_002	286,64		124,2%		amfiploid
T8xK1_C_T1_003	326,72		155,5%		amfiploid
T8xK1_C_T1_004	320,38		150,6%		amfiploid
T8xK1_C_T1_005	273,62		114,0%		amfiploid
T8xK1_C_T1_006	296,81		132,1%		amfiploid
T8xK1_C_T1_007	234,62		83,5%		aneuploid
T8xK1_C_T1_008	215,83		68,8%		aneuploid
T8xK1_C_T1_009	256,71		100,8%		amfiploid

7. tábla: A T8×K1 excel táblázatban vezetett citogram mérései összehasonlítva a K1 és a T8 citogram mérés adataival

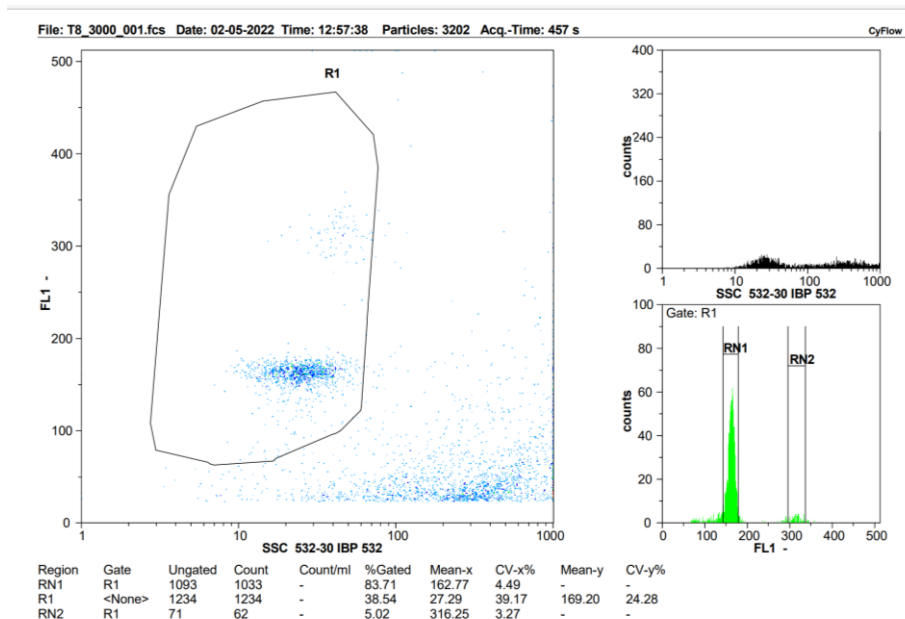
A szülők relatív genomméretének ismeretében meghatároztuk a hibridek várható genomméretét, amit ebben az esetben is a diploid szülők genomméretének a felének az összegéből kalkuláltunk. A várható amfiploid genomméretet pedig a korábbiakkal azonos módon a két szülő relatív genomméretének összegének megfelelően határoztuk meg. Eredményeink azt mutatták, hogy míg a 2-es számú minta 1%-n belüli eltéréssel egyezett a várható hibrid genommérettel az 1-es számú minta egyik mérettartományba sem illeszkedett, így ezt aneuploid genomméretűnek határoztuk meg. A 3-as és a 4-es minta mérete az anyai partner genomméretével mutatott egyezést, ami alapján feltételeztük, hogy ezek a növények nem idegen termékenyülésből, hanem a keresztezésekre való előkészülés során a kasztrálás során vétett manuális hiba következtében öntermékenyülésből fejlődtek.

A feltételezést a növények fenotípusa is megerősítette, a közel 100%-os fertilitás egyértelműen arra enged következtetni, hogy ezek a növények nem idegen termékenyülésből származtak.



17. ábra: A T8×K1 növények G1 mérései összehasonlítva a K1 és a T8 kontroll átlagával

A colchicin kezelés követően felnevelt növények kalászaiban 9 szemtermés fejlődött, ami feltételezte a legalábbis részleges genomduplikációt. A szemtermésekből csírázó növénykéik genomméret meghatározása során azt tapasztaltuk, hogy az a 7 növény mintája esett az amfiploid tartományba, amelyek a hibrid kalkulált értékhez viszonyítva a több mint kétszeres genomméret alapján feltételezhető volt, hogy mindkét szülő teljes genomjával rendelkeznek.



18. ábra: T8 citogram

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

5.1. Az évelő rozs poliploidizációjára tett kísérletek eredményeinek értékelése

Méréseink eredményei alapján a csíranövények, és a fiatal bokrosodás utáni állapotú növények colchicin kezelése is eredménytelennek bizonyult. Bár a csíranövények kezeléséből származó minták mérése rendkívül pontatlan volt, a 17 lemért minta majd fele 10 minta esetében a várható értéktartományon kívüli értékeket kaptunk, ezért ezt a vizsgálatot leginkább csak egy előkísérletnek lehet értékelni. Azonban annak tükrében, hogy a tetraploid kontroll minták méretei a várt tartományba estek, feltételeztük, hogy az eljárás a pufferarányok pontos betartása mellett, alkalmas a sikeres genomduplikáció kimutatására. Mivel felfelé kiugró genomméretet egyetlen vizsgált minta esetében sem találtunk ezért feltételeztünk, hogy a genomduplikáció egyik esetben sem volt sikeres. Ezt a feltételezést, később a növények terméslemeinek vizsgálata is megerősítette.

A bokrosodás után a fiatal növénykéken elvégzett colchicin kezelés a csíranövényekéhez hasonló eredményre vezetett. Bár az eljárást a megfelelő pufferarányok szigorú betartásával sikerült optimalizálni, egyetlen minta esetében sem találtunk a diploid szülőénél nagyobb genommérettel rendelkező utódokat, holott a tetraploid kontroll növények mintái minden esetben a várható tetraploid mérettartományba estek.

A sikertelenség oka, feltehetően a nem megfelelő colchicin koncentrációnak köszönhető, ami elsősorban a rozsnak és az évelő rozsnak az árpához viszonyítva nagyobb colchicin toleranciájával magyarázható. A siker érdekében a jövőben célszerű lenne megismételni a kezeléseket magasabb colchicin koncentráció, vagy hosszabb kezelési idő alkalmazásával.

5.2. Az évelő rozs keresztezésével előállított hibridek és azok genomduplikációs kezelésének eredményeinek értékelése

Az évelőség és a magasabb termőképesség egy növényen való kombinálására 3 különböző keresztezési kombinációból előállított növények genomméretét próbáltuk meghatározni, az ismert szülői genomméretekhez viszonyítva. Két ugyanabból a keresztezési populációból származó, de eltérő tulajdonságokkal rendelkező évelő rozst, a vad szülőhöz leginkább hasonlító Report és az egygyári domesztikált rozsokra jobban emlékeztető, jobb

termőképességű, de gyengébb évelő tulajdonságú Keleti1 fajták voltak a pollenadó partnerek, míg az anyai vonalak az idegen termékenyülésre rendkívül fogékony Mv9Kr1 és a T8 tavaszi tritikálé voltak. Sajnos a vizsgálat idejére a Report genotípus teljesen elpusztult, így a vizsgálatokhoz nem sikerült róla a mérésekhez elégséges friss levélszövetet izolálni. Helyette az utódnemzedék vizsgálatokhoz szintén, a feltehetően nagyon hasonló genommérettel rendelkező Keleti1 mintáit használtuk kontrollnak.

Az Mv9×Keleti 1 kombinációból 17 növény származott, melyekből 5 bizonyult hibridnek, 12 mutatott aneuploid méretet. A colchicin kezelés ellenére egyik növény sem mutatott amfiploid genomméretet, a duplikáció sikertelenségét a növények teljes sterilitása is alátámasztotta.

Dolgozatom alapját képző munkák lezárulta után az egyik növény késői sarjhajtásai között megjelent egy fertilis kalász, amiben 7 szemtermés is fejlődött, a szemtermésekből fejlődő növények kromoszómakészletét megvizsgálva megállapítható volt a búza genom részleges eliminációja, ami megerősíti, hogy az általunk vizsgált a kalkulált hibridnél nagyobb de a feltételezett amfiploidnál kisebb genommérettel rendelkező növények feltehetően valóban aneuploidok lehettek.

Az Mv9Kr1 × Report keresztezésből 10 növény származott melyek genomméretének meghatározása utána 6 mutatkozott hibridnek, 4 aneuploidnak. A Hibridek relatív fluoreszcencia értéke, minimálisan nagyobb volt, mint az Mv9Kr1 × Keleti1 kombinációból származó hibrideké, ami alapján arra következtettünk, hogy az azonos származás ellenére a Report genommérete a Keleti1-hez képest minimálisan nagyobb lehetett. A kombinációból a colchicin kezelés ellenére nem sikerült szemterméseket gyűjtenünk, így a jövőben ha szeretnénk a kombinációból származó vegyes tulajdonságú növényeket létrehozni, a keresztezéseket meg kell majd ismételni.

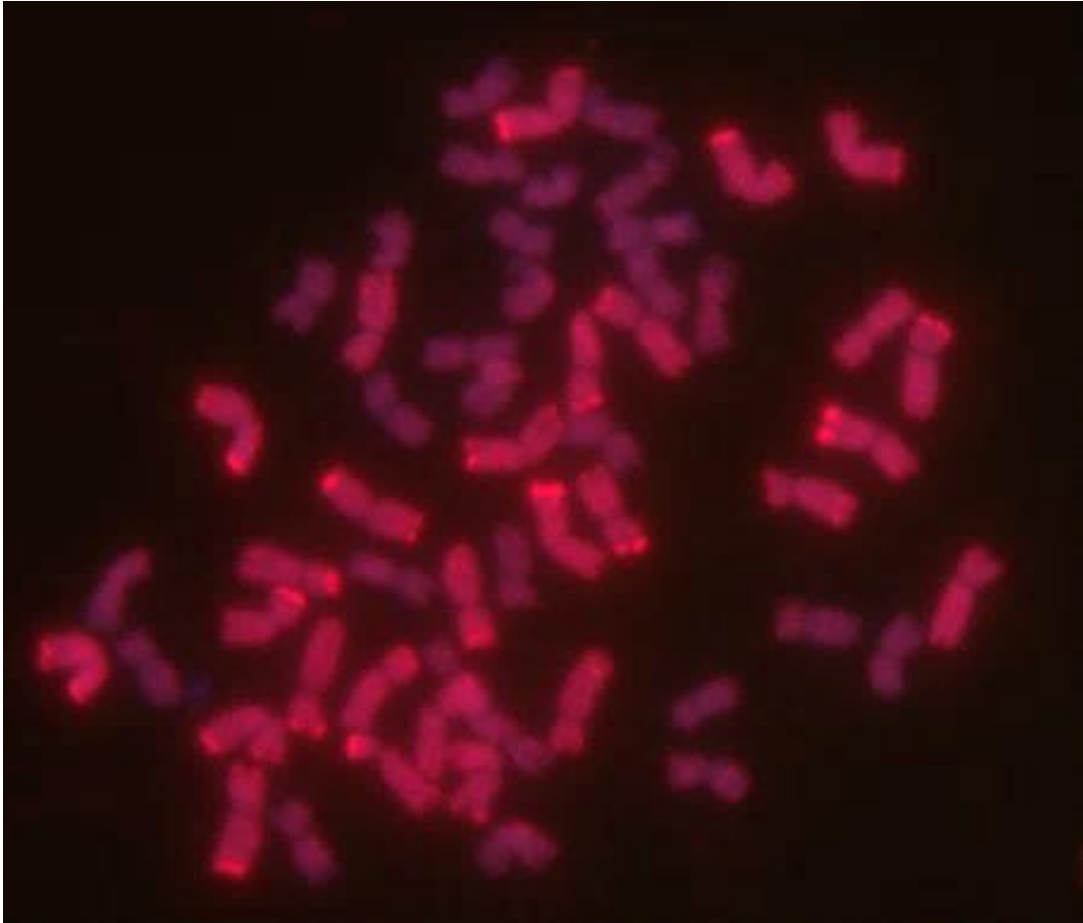
A harmadik kombináció a T8 tavaszi tritikálé és a Keleti1 évelő rozs alkalmazásával került létrehozása. A kombinációból számos növény származott azonban genomméret meghatározást mindössze azon 4 növényen végeztünk, amelyek fertilisnek tűnő fenotípusa alapján feltételeztük a genomduplikáció esetleges sikerességét. Ebből 2 növényről, melyek közel 100%-os fertilitást mutattak, a genomméret meghatározás alapján megállapítottuk, hogy kasztrálási hiba eredményeként öntermékenyülésből származtak. Ezt a feltételezést később az osztály dolgozói GISH vizsgálattal is igazolták.



19. ábra: T8xK1 kasztrálási hiba eredménye.

A maradék 2 növényről összesen 9 szemtermést sikerült gyűjteni melyek mindegyike az várható amfiploid tartományba, vagy annak közelébe esett. Mindössze két minta a 7-es és a 8-as tűnt valamivel kisebbnek,

A megerősítés gyanánt az intézet dolgozói által elvégzett GISH vizsgálat megerősítette a feltételezést, a vizsgált növények 56 kromoszómával 28 búza és 24 rozs eredetűvel rendelkeztek.



29. ábra: Teljes amfiploid

A 7-es és 8-as számú minta a várható hibrid genomméretnél nagyobb, ellenben az amfiploidnál kisebb méretet mutatott, ezért feltételezhető volt az aneuploidia azonban ezt a feltételezést GISH vizsgálattal nem sikerült megerősíteni, ami feltételezi, hogy a kisebb mért érték nem kevesebb kromoszómaszám, hanem inkább mérési hiba eredménye.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A búza, a rozs és a tritikálé évezredek óta termesztett, főleg élelmiszertermelésre használt gabonatípusok. A búza alapélelmiszer, és a világ különböző régióiban széles körben termesztik. Magas gluténtartalma miatt a kenyér és a tésztafélék kedvelt alapanyaga. A rozs egy szívós növény, amely hidegebb éghajlaton terem, és egyedi ízzel és textúrával rendelkezik. A búza és a rozs keresztezéséből származó tritikálé pedig egy hibrid gabona, amely a búza magas terméshozamát a rozs ellenállóságával kombinálja. Ezen gabonák termesztéséhez bevezetve az évelőséget, egy fenntartható mezőgazdaság jövőjét szolgálja.

Szakdolgozatomban új generációs, évelő gabonafajták létrehozását teszteltük, amelynek genomduplikációs eredményeit flow citométerrel vizsgáltuk:

- A Keleti 1 colchicin kezelési esemény egyike sem utalt sikeres genomduplikációra.
- A Mv9Kr1×K1 mérések eredményei szerint egyes növények hibrid, míg a többi minta jóval nagyobb méretet mutatott, viszont egyik minta mért relatív fluoreszcencia értéke sem érte el az amfiploid esetében várt relatív genomméretet, amiért ezeket a növényeket aneuploid-ként határoztuk meg.
- A Mv9Kr1 × Report keresztezésből származó növények genommérete a Mv9Kr1×K1 növények genomméretéhez viszonyítva hasonló eredményeket produkált, amelynél szintén amfiploidnak megfelelő genomméretet egyetlen esetben sem találtunk.
- Azonban a T8 × Keleti 1 keresztezésből származó növények genommérete, kiindulva a T8 tavaszi hexaploid tritikálé méretéből, többnyire amfiploid és néhány aneuploid növényt eredményezett.

SZAKIROLDALMI JEGYZÉK

- AMMAR K., MERGOUM M., RAJARAM S. 2004: The history and evaluation of triticale. In Mergoum, M., Gomez-Macpherson, H. (szerk.) Triticale improvement and production, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, pp. 1-10.
- ÁNGYÁN J.- MENYHÉRT Z. 2004: Alkalmazkodó növénytermesztés, környezet- és tájgazdálkodás. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest. 766p.
- BÁLINT A. F. 2008: Őskori gabonatermesztési kísérlet a százhalmobattai Régészeti Parkban - A búzatermesztés korai története. MTA Mezőgazdasági Kutatóintézete, Martonvásár. 14 p.
- BELEA A. 1976: Fajkereszteзések citogenetikája a Triticinae alakkörben. MTA doktori értekezés, 78 o.
- Birkás M. 2001: Talajművelés a fenntartható mezőgazdaságban. Szent István Egyetem, Gödöllő, 292 p.
- BLAKESLEE A. & AVERY A. 1937: Methods of including doubling of chromosomes in plants. J. Hered. 28. p. 392-411.
- CSIPKÉS M., NAGY L., SZABÓ K. 2017: Magyarország földhasználatának elemzése rendszerváltástól napjainkig. Jelenkori társadalmi és gazdasági folyamatok, (2017) XII. évfolyam, 1-2. szám, pp. 141-152.
- DARVEY N. L., NAEEM H., GUSTAFSON J. P. 2000: Triticale: production and utilization. In Kulp, K., Ponte, Jr. J. G. (szerk.) Handbook of Cereal Science and Technology. Marcel Dekker, New York.
- D. SOTO-GÓMEZ, P. PÉREZ-RODRÍGUEZ 2022: Sustainable agriculture through perennial grains: Wheat, rice, maize, and other species. A review. Agriculture, Ecosystems & Environment. Volume 325, 28 February 2022, 107747
- FARKAS B., FÜLE L., KOTVICS G., HESZKY L. 2005: Új takarmánynövényünk, a Perenne évelő rozs. Gyakorlati agrofórum, 16, 34-36.
- FELDMAN M., LEVY A. A. 2012: Genome evolution due to allopolyploidization in wheat. Genetics 192:763–774. doi: 10.1534/genetics.112.146316
- Herrero, M., Thornton, P.K., Notenbaert, A.M. et al. Smart investments in sustainable food production: revisiting mixed crop-livestock systems. Science 327, 822–825 (2010).
- HUANG S., SIRIKHACHORNKIT A., SU X., et al. 2002: Genes encoding plastid acetyl-CoA carboxylase and 3-phosphoglycerate kinase of the Triticum/Aegilops complex and the evolutionary history of polyploid wheat. Proc Natl Acad Sci USA 99:8133–8138.
- KISS Á. 1968: Triticale, a homok új gabonája. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. pp. 10, 179.
- KOPASZ M. 2004: A fenntartható magyar mezőgazdaság lehetőségei és esélyei. PhD értekezés, Corvinus Egyetem, Budapest. 149 p.
- KOTVICS G. 1963: A Secale cereale L., Secale montanum Guss. és hibridjeinek morfológiai, citogenetikai és fejlődés-élettani tulajdonságainak vizsgálata, kandidátusi értekezés, Gödöllő.
- KRUPPA J. 2001: Rozs és triticale nemesítés és tájtermesztés eredményei. PhD értekezés, Debreceni Egyetem, Agrártudományi Centrum, Mezőgazdaságtudományi Kar, Növénytermesztési és Tájökológiai Tanszék, Debrecen
- KSH. 2014: STATISZTIKAI TÜKÖR. A búza és a kukorica termesztése, kereskedelme és felhasználása a világon. 2014/132. 2014. december 09.
- LÁNGNÉ M. M. 2006: Fajidegen génátvitel klasszikus genetikai módszerekkel a búzába és az utódok molekuláris citogenetikai elemzése. Akadémiai nagydoktori tézis, MTA Mezőgazdasági Kutatóintézete.

LÁNGNÉ M. M. 2009: Növénygenetika. Az Agrármérnöki MSc szak tananyagfejlesztése TÁMOP-4.1.2-08/1/A-2009-0010.

M. LANKER, M. BELL, V. D. PICASSO 2019: Farmer perspectives and experiences introducing the novel perennial grain Kernza intermediate wheatgrass in the US Midwest. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 35, 653–662. Cambridge University Press

NEMÉNYI M. 2020: Az agrárium és az ökológiai fenntarthatóság i. Rész: globális megközelítés, a gazdagok felelőssége. *Magyar Tudomány* 181(2020)12, 1665–1673.

PEPÓ P. 2019a: Általános növénytermesztési ismeretek. Mezőgazda Lap- és Könyvkiadó, Budapest. 336 p.

PEPÓ P. 2019b: Alternatív növények. Mezőgazda Lap- és Könyvkiadó, Budapest. 259 p.

PEPÓ P. 2019c: Alapnövények. Mezőgazda Kiadó, Budapest. 359 p.

PEPÓ P., SÁRVÁRI M. 2011: Gabonanövények termesztése. Az Agrármérnöki MSc szak tananyagfejlesztése. Debreceni Egyetem, Debrecen. 86 p.

RADICS L. 1994: Szántóföldi növénytermesztés. Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem Kertészeti Kar. Budapest. 220 p.

RANDHAWA H.S., BONA L., GRAF R.J. 2015: Triticale for food- the quality driver. In Eudes F. (szerk.) *Triticale*. Springer. pp. 15-32.

RILEY R., LAW C. 1965: Genetic variation in chromosome pairing. *Adv Genet* 13:57–114.

ROBERTS HF. 1929: *Plant Hybridization before Mendel*. Princeton Univ Press, 374 o.

SEPSI A., MOLNÁR I., SZALAI D., MOLNÁR-LÁNG M. 2008: Characterization of a leaf rust resistant wheat–*Thinopyrum ponticum* partial amphiploid BE-1 using sequential multicolor GISH and FISH. *Theor. Appl. Genet.* 116: 825: 834.

SHARMA HC. 1995: How wide can a wide cross be? *Euphytica* 82:43–64. Kluwer Academic Publishers.

SIPOS T., HALÁSZ E. 2007: The role of perennial rye (*secale cereale* x s. *Montanum*) in sustainable agriculture. *Cereal Research Communications* Vol. 35, No. 2, PROCEEDINGS of the VI. ALPS-ADRIA SCIENTIFIC WORKSHOP: Obervellach, Austria 30 April-5 May 2007: Part II (June 2007), pp. 1073-1075 (3 pages). Akadémia Kiadó

STACE C. A. 1987: Triticale: a case of nomenclatural mistreatment. *Taxon*, 36, 445-452

SZAKÁCS É., SCHNEIDER A., LÁNGNÉ MOLNÁR M. 2014: Búza-Évelő Rozs (*Secale Cereanum*) Introgressziós Vonalak Molekuláris Citogenetikai Jellemzése. XX. Növénynevelési Tudományos Nap (2014. március 18.) Növénynevelés a megújuló mezőgazdaságban. A Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományok Osztályának Növénynevelési Tudományos Bizottsága 414-418 p.

TÖRÖK P. 2013: Gyeptelepítés elmélete és gyakorlata az ökológiai szemléletű gazdálkodásban. *Ökológiai Mezőgazdasági Kutatóintézet*, Budapest. 104 p.

USDA. 2022: World Agricultural Production. Circular Series WAP 6-22 June 2022

VALKÓ G., KOVÁCS I., FARKASNÉ FEKETE M. 2018: A fenntartható mezőgazdaság kompozit indikátorai. *Statisztikai Szemle*, 96. évfolyam 8–9. szám 862–891. oldal

V. AUDU, F. RASCHE, L.-M. DIMITROVA MÅRTENSSON, C. EMMERLING 2022: Perennial cereal grain cultivation: Implication on soil organic matter and related soil microbial parameters. *Applied Soil Ecology*, Volume 174, June 2022, 104414

ZIRKLE C. 1935: *The beginnings of plant hybridization*. Univ Pennsylvania Press, 231 o.

Internetes források:

http 1 Arcanum- Kézíkönyvtár-Magyar néprajz-II. GAZDÁLKODÁS-PARASZTI GAZDÁLKODÁS-GABONATERMESZTÉS-A GABONAFÉLÉK <https://www.arcanum.com/hu/online-kiadvanyok/MagyarNeprajz-magyar-neprajz-2/ii-gazdalkodas-4/paraszti-gazdalkodas-378/gabonatermesztes-585/a-gabonafelek-6B3/> (megtekint: 2022.06.12.)

BASA M. 2022: Index. Élelmezési válság felé sodorja a világot az orosz–ukrán háború. 2022.05.26. <https://index.hu/velemeney/2022/05/26/elelmezesi-valsag-fele-sodorja-a-vilagot-az-orosz-ukran-haboru/> (megtekint: 2022.06.21.)

ÁBRAJEGYZÉK

TÁBLAJEGYZÉK

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton köszönöm meg segítségét konzulensemnek, Dr. Polgári Dávidnak, aki szaktudásával, értékes tanácsaival és felbecsülhetetlen értékű visszajelzéseivel segített a szakdolgozatom elkészítésében.

Hálás vagyok továbbá a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem oktatóinak és munkatársainak, akik biztosították számomra a tudományos céljaim eléréséhez szükséges forrásokat és lehetőségeket.

Szeretném továbbá elismerésemet kifejezni a tanulmányomban részt vevőknek, akiknek a tapasztalataik és meglátásaik megosztására való hajlandósága nagyban hozzájárult a kutatásomhoz.

NYILATKOZAT

Alulírott **Kállay Dalma Róza**, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, **Gödöllői Campus, Mezőgazdasági biotechnológus** szak nappali * tagozat végzős hallgatója nyilatkozom, hogy a dolgozat saját munkám, melynek elkészítése során a felhasznált irodalmat korrekt módon, a jogi és etikai szabályok betartásával kezeltem. Hozzájárulok ahhoz, hogy Szakdolgozatom egyoldalas összefoglalója felkerüljön az Egyetem honlapjára és hogy a digitális verzióban (pdf formátumban) leadott dolgozatom elérhető legyen a témát vezető Tanszéken/Intézetben, illetve az Egyetem központi nyilvántartásában, a jogi és etikai szabályok teljes körű betartása mellett.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: nem*

Kelt: 2023.05.09.



Kállay Dalma Róza

NYILATKOZAT

A dolgozat készítőjének konzulense nyilatkozom arról, hogy Szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A Szakdolgozatot záróvizsgán történő védelemre javaslom .

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: 2023.05.09.



Dr. Polgári Dávid