



A tritikálé haploid nemesítése és új hasznosítási lehetősége

**ifj. Kruppa József
Gödöllő
2025.**

A doktori iskola

Megnevezése: Növénytudományi Doktori Iskola.

Tudományága: Növénynevelés és kertészeti tudományok

Vezetője: **Prof. Dr. Helyes Lajos**
egyetemi tanár, MTA levelező tagja
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Kertészettudományi Intézet, Doktori és Habilitációs Központ,
Gödöllő

Témavezetők: **Prof. Dr. Pauk János**
egyetemi magántanár, MTA doktora
Gabonakutató Nonprofit Közhasznú Kft., Szeged

Dr. Futó Zoltán
Ph.D, oktató, igazgató
Bethlen Gábor Mezőgazdasági és Élelmiszeripari Technikum,
Gyomaendrőd

.....
Prof. Dr. Pauk János
témavezető

.....
Dr. Futó Zoltán
témavezető

.....
Prof. Dr. Helyes Lajos
iskolavezető

Tartalomjegyzék

Rövidítések jegyzéke.....	1
BEVEZETÉS.....	2
1. CÉLKITŰZÉSEK	5
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	7
2.1. A tritikálé nemesítésének rövid történeti áttekintése.....	7
2.2. Alkalmazott dihaploid módszerek tritikáléban.....	12
2.3. A dihaploid (DH) növények integrálása a nemesítésbe.....	13
2.4. A rozs és tritikálé mint tömegtakarmány.....	17
3. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK	23
3.1. Haploid növények előállítása és homogenitás vizsgálat.....	23
3.1.1 A kísérlet növényanyaga és előállításának körülményei.....	23
3.1.2 A donor kalászok előkezelése	23
3.1.3 Portokok izolálása és <i>in vitro</i> portoktenyésztés	23
3.1.4 Növényregenerálás és akklimatizáció	26
3.1.5 Primerek	28
3.1.6 DNS izolálás, PCR, mikroszatellit analízis, allélméret meghatározása.....	29
3.2. A tritikálé zöld tömegtakarmány és annak táplálóanyag-tartalmának vizsgálata	30
3.3. Statisztikai elemzések	35
4. EREDMÉNYEK	36
4.1. DH növények előállítása és homogenitás vizsgálata	36
4.1.1 Androgenezis indukciója a tritikálé portoktenyésztésben.....	36
4.1.2 A tritikálé genotípus és tápközeg kölcsönhatás vizsgálata izolált portoktenyésztésben.....	37
4.1.3 Az androgenezis hatékonysága a tritikálé fajtákban és F ₁ hibridekben.....	38
4.1.4 A portoktenyésztésből származó ELS-ek regenerációs hatékonysága	40
4.2. A homogenitás vizsgálata molekuláris markerekkel	43
4.3. A tritikálé zöldtakarmány célú felhasználása	47
4.3.1 Négy tritikálé fajta szemtermés eredménye	47
4.3.2 A tritikálé fajta zöldhozamának vizsgálata	49
4.3.3 A tritikálé zöldtömeg táplálóanyag-tartalmi értékének vizsgálata	52
4.3.3.1 Nyersfehérje.....	53
4.3.3.2 Nyersrost.....	56
4.3.3.3 Neutrális detergens rost (NDF).....	58
4.3.3.4 Emészthető NDF (dNDF) és az NDF 48 órás emészthetősége (NDF _{d48}).....	60

4.3.3.5	Laktációs nettó energia (NEI).....	65
4.3.3.6	Esszenciális aminosavak (lizin, metionin).....	66
5.	MEGVITATÁS.....	71
5.1.	Haploid és DH tritikálé növények előállítása	71
5.2.	Az előállított DH növények homogenitás vizsgálata.....	73
5.3.	Tömegtakarmány céljára vegetatív fenofázisokban betakarított tritikálé zöldhozama és táplálóanyag-tartalma.....	74
6.	ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	78
7.	JAVASLATOK AZ EREDMÉNYEK HASZNOSÍTÁSÁRA	79
8.	ÖSSZEFOGLALÁS.....	82
	Summary	86
	Köszönetnyilvánítás	90
	Irodalomjegyzék.....	91

RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

Az értekezésben az alábbi rövidítések találhatók:

DH	= dihaploid = doubled haploid
ELS	= embrió-szerű struktúra
NDF	= neutrális detergens rost
dNDF	= emészthető neutrális detergens rosttartalom
NDFd ₄₈	= NDF 48 órás emészthetősége %-ban
BBCH	= a legelterjedtebb skála a növények fenológiai fejlődési szakaszainak azonosítására
NEI	= laktációs nettó energia
QTL	= (Quantitative Trait Locus) mennyiségi tulajdonság lókusza
SSR	= (simple sequence repeat) egyszerű szekvencia-ismétlődés, mikroszatellit

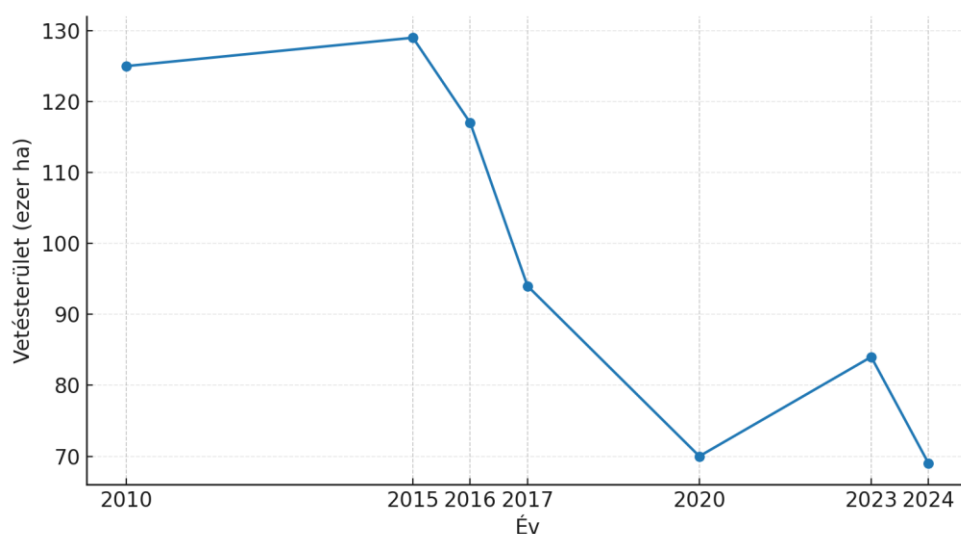
BEVEZETÉS

A tritikálé (X *Triticosecale* Wittmack) mai botanikai formája mesterségesen előállított nemzetség-hibrid, amelyet azzal a szándékkal hoztak létre, hogy egyesítsék a szülő nemzetségek – a *Triticum* és *Secale* – legjobb tulajdonságait. Az első tritikálé előállítása Wilson angol botanikus nevéhez fűződik 1875-ben. Az általa előállított hibrid azonban meddő volt. Az első termékeny hibrid előállítása Rimpau német növénynemesítő nevéhez kötődik, 1890-ben. Ezek után sok kutató és nemesítő foglalkozott a tritikáléval a világ számos helyén. A világ tritikálé nemesítés pionérja a már Magyar Örökség Díjas Kiss Árpád, akinek nevéhez fűződik az első szekunder hexaploid tritikálé előállítása 1960-ban. A tritikálé nemesítésében áttörést jelentett a durum búza és rozs keresztezésével előállított hexaploid tritikálé. Európában napjainkban legeredményesebb a lengyel nemesítés, emellett a német és francia fajták is ismertek. Magyarországon Martonvásáron és Szegeden indult el évtizedekkel ezelőtt honosítás majd saját nemesítés. Kisvárdán 1988-ban kezdődött el a tritikálé nemesítése.

Európában – Lengyelország mellett – Németország, Franciaország és Ukrajna tritikálé termesztése jelentős, de számottevő Anglia, Bulgária, Románia, Olaszország, Portugália, Spanyolország, Ausztria, Svájc, Svédország, Belgium, Hollandia, Horvátország, Szlovénia, Csehország, Szlovákia és Magyarország területe is. A világon nagy termőterülettel és jelentős kutatási eredményekkel Európán kívül Ausztrália, USA, Mexikó, Oroszország, Kína, Brazília, Argentína, Kanada, Chile, Marokkó és Dél-Afrika rendelkezik. Ma az első termesztésre alkalmas tritikálé fajta megjelenése után kb. 60 évvel, nagyságrendileg 3,6 millió ha-on 8 millió tonnát meghaladó tritikálét termesztenek évente a világon.

Magyarországon a lengyel Presto fajta honosítása után a '90-es években kezdett intenzíven növekedni a vetésterülete és 1996-tól meghaladja a 100 ezer hektárt. A 2000-es évek közepétől stabilan 100–120 ezer hektár között mozgott, azonban az elmúlt években csökkenés figyelhető meg. Jelenleg a vetésterület nagysága 70 ezer hektár körülre tehető, ami továbbra is jelentős (1. ábra), különösen a gyengébb adottságú talajokon való hasznosítás szempontjából. Termesztése elsősorban búza, kukorica, árpa számára már kevésbé alkalmas, gyengébb termőképességű un.

„átmeneti” talajokon folyik. Ezeken a talajokon versenyképes a fent említett növényfajokkal és a rozssal is.



1. ábra: A tritikálé (összes) vetésterülete (ezer ha) Magyarországon a KSH adatai alapján (2010-2024).

A tritikálé alkalmazkodóképessége kitűnő. Szárazság- és hidegtűrő képessége jobb, mint az őszi búzának. Termesztésének előnyei a termés mennyiség és termésbiztonság, gazdaságosság tekintetében – a többi gabonafélékhez képest - elsősorban a szárazabb, melegebb és hidegebb éghajlatú térségekben egyaránt megfigyelhetők. A ma termesztett fajták igénytelenebbek a búzánál, jó a betegségekkel szembeni ellenállóságuk, jól tűrik a szélsőséges ökológiai körülményeket is (sótűrés, túl alacsony és túl magas pH-tűrés, hideg-meleg klímátűrés), takarmányozási értékük is kiváló, ennek köszönhetően kenyér, valamint egyéb pékáru is készíthető belőlük. Nagy előnye a tritikálénak a többi gabonaféléhez hasonlóan, hogy gazdaságosan és egyben környezetkímélően termeszthető kedvezőtlen ökológiai körülmények között is. Termesztése a sarkvidékek kivételével mind az öt földrészen elterjedt.

Az éghajlatváltozás következtében tömegtakarmány termesztésünket jelenleg és a jövőben nagyobb biztonsággal alapozhatjuk a kis vízigényű rozusra és tritikáléra, amelyek a téli csapadékot hasznosítva, kora tavasszal már nagy zöldhozamra képesek. Új lehetőség a rozs és tritikálé tömegtakarmány célra történő hasznosítása. A rozs és tritikálé korán betakarítva jó minőségű zöldtakarmányt biztosít a tejelő tehenek részére. Mindemellett a tritikálé lassabban „öregszik” a kaszálás szempontjából kritikus kalászoslási időszakban, ezért több idő áll rendelkezésre a jó minőségű

tömegtakarmány alapanyag optimális időpontban történő betakarítására (a „betakarítási ablak” nagyobb). Mivel később kalászol, mint a rozs, ezért a rozs kaszálását befejezve folytatható a tritikáléval a jó minőségű zöld tömegtakarmány alapanyag kaszálása, továbbá csökkenthető az időjárásból eredő kockázat is.

A tritikálé étkezési célú felhasználása mellett Magyarországon elsőként a Kruppa-Mag Kft. (kooperálva a MATE Kaposvári- és Szent István Campusával, valamint a gödöllői Állattenyésztési Teljesítményvizsgáló Kft.-vel) kezdte el a tritikálé zöldtakarmány célú hasznosításának vizsgálatait, melyek a zöldhozam eredményeire és annak beltartalmi (táplálóanyag-tartalmi) vizsgálataira fókuszált.

1. CÉLKITŰZÉSEK

A vizsgálat egyik célja az volt, hogy hasonlítsunk össze két gyakran használt alaptápközeget (P4, W14) hatékonyságát a tritikálé fajták és F₁ hibridjeik portoktenyésztésében, a tápközeget, a genotípust és a genotípus×tápközeget interakció hatásait a tritikálé genotípusok androgenezisére, amiket olyan androgén paraméterek alapján határoztunk meg, mint az embrioidok (ELS), zöld- és albinó növényké, valamint az kiültetett növényké száma. A spontán kromoszóma-kettőződés százalékos arányát a fertilis növények száma alapján számítottuk ki. A doubled haploid (DH) törzsek homogenitását SSR markerekkel ellenőriztük a DH₂ generációban, hogy megvizsgáljuk az előállított DH tritikálé törzsek keresztbeporzásának lehetőségét.

A kalászos gabonafélék hasznosításának rendkívül sok iránya létezik a mai modern mezőgazdasági gyakorlatban. A hagyományos értelemben vett szemtermés hasznosításán kívül, az utóbbi években rendkívüli módon felértékelődött a gabonafélék zöldtömegének hasznosítása.

A kukoricaszilázs a kérődző állatok, elsősorban a szarvasmarha tömegtakarmány bázisát adja, de a silókukorica termesztése a klímaváltozás hatására egyre több nehézséget vet fel. A kukorica virágzása és szemtelítődése egybeesik a tenyészidőben a legszárazabb, csapadékhányos időszakokkal, ami jelentős termés kiesést, esetenként korábbi betakarítást, minőségcsökkenést is eredményezhet. Ezért kerültek előtérbe azok az új technológiák, amelyek a téli félév csapadékát jobban tudják hasznosítani, jó minőségű és megfelelő zöldhozamú alapanyagot biztosítanak. A kísérletünk négy évében megvizsgáltuk, hogy a tritikálé (X *Triticosecale* Wittm.) alkalmas-e tömegtakarmánnyként történő hasznosításra, az milyen zöldhozamot képes biztosítani és azt milyen minőség jellemzi.

Fent említettek alapján vizsgálataink és kísérleteink főbb **célkitűzései** röviden a következők voltak:

1. P4 és a W14 alaptápközegek összehasonlítása a tritikálé fajták és F_1 hibridek portoktenyésztésében.
2. A tápközeg, genotípus, genotípus $\times$ tápközeg kölcsönhatás vizsgálata tritikálé *in vitro* portoktenyésztésben.
3. Az előállított tritikálé törzsek homogetitálásának vizsgálata molekuláris markerekkel a DH₂ generációban.
4. Tritikálé zöld tömegtakarmány hasznosításának vizsgálata mennyiségi és minőségi szempontból néhány termesztésben lévő tritikálé fajtával.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A tritikálé a gabonafélék egyik legfiatalabb, de méltán mondhatjuk, ilyen rövid nemesítéstörténeti idő után, a legsikeresebb termesztési karriert leírt növénye. Egyedisége abban áll, hogy a gabonafélék között ez az egyedüli nemzetség-hibrid, amely széleskörben köztermesztésbe került. Fenotípusa különösen szép, még a laikus szemlélőt is magával ragadja. Erős szárú, nagykalászu, nagy termést mutató gabonaféle. A nemzetség-hibridben könnyen felismerhetők a búza és rozs jegyek. Azt lehet mondani, a nemesítési cél teljesült. A nemesítők ötvözték a két gabonanemzetség előnyös tulajdonságait. Ha valami hiányérzetünk lenne, azt minden valószínűség szerint a folyamatos nemesítés megvalósítja majd. Kutató munkám is erre törekszik.

2.1. A tritikálé nemesítésének rövid történeti áttekintése

Kiss Árpád (1968) a kutatás és nemesítés atyja, a „Triticale”-ről könyvében így ír: „A triticales megszületése a botanikusok azon kíváncsiságára vezethető vissza, hogy tanulmányozni kívánták a fajok átalakulását. Már az 1870-es években azért kísérleteztek búza-rozs keresztezésekkel, hogy tisztázzák e két növény-nemzetség kapcsolatát. E vizsgálatok főként rendszertani vonatkozásúak voltak. WILSON angol botanikus volt az első, aki az Edinburghi Botanikai Társaságnak először mutatta be azokat a meddő, addig soha nem látott kalászokat, amelyeket a búza és a rozs keresztezéséből kapott.”

Kiss (1968) így írja le az első szekunder hexaploid tritikálé megszületését: „Martonvásáron 1951-ben kezdtük el azt a munkát, amely végül is az első szekunder hexaploid tritikálé, vagyis az, No 30 törzs megszületéséhez vezetett. E hibridet a magyar (*Fleischmann 481 búza x rozs*) $2n=56$ és a (*Triticum turgidum x rozs*) $2n=42$ búza-rozs amfiploidok kétszeres keresztezéséből kaptuk 1954-55-ben, s az első perspektivikusnak látszó utódot Kecskeméten a harmadik nemzedékben (F_3), vagyis 1958-ban emeltük ki.” A tritikálé nemesítés célját Kiss Árpád ugyanebben a könyvében így fogalmazta meg: „Erre ma már könnyen felelhetünk. Biztosan nagy termőképességű, télálló és fagyálló, jó takarmányértékű triticales különböző gombabetegségekkel szemben ellenálló maradjanak.” „Homoktalajon ügyelni kell a

szárazságtűrésre. A tritikálénak legalább olyan mértékű szárazságtűrő-képességgel kell rendelkeznie, mint a rozsnak.” „A termés minősége egyelőre takarmányozási és később jó lisztminőségű törzsek, illetve fajták előállítására. Fontos a nagy csírázási erély, erős kezdeti fejlődés, homoktalajon a jó bokrosodás, jó minőségű talajon inkább az egyszárúság.” „Később egyes kombinációkban talán az örökletesen jó lisztminőség és jó minőségű, gyöngyházfényű sikértartalom is elérhető. A jelenlegi hexaploid tritikálék bár a siker mennyiségében megközelítik a búzát, annak minőségében azonban korántsem kielégítő még.” „A hibáit pedig részben mi, nagyrészt pedig azok a fiatal kutatók fogják megjavítani, akik egyelőre a tritikalénak csak a nevét tudják, de semmi közelebbit nem sejteneek róla. Fejlődés az élet rendje. A tritikálé pedig fejlődést jelent a rozshoz, de lehet, hogy fejlődést fog jelenteni a búzához képest is.”

A búzából az A és B genom, a rozsból az R genom tevődött össze a tritikáléban. Genomkészlete AABBRR és a testi sejtek kromoszómaszáma $2n=42$. Így ezt a hibridet már a nagyüzemi termesztés számára javasolták a jobb homoktalajok hasznosítására (Szabó 1996).

Bedő és Láng (1992) véleménye szerint a tritikálé nem helyettesíti a rozst, nem váltja ki a búzát, nem jobb és nem rosszabb az előbbi kettőnél, ellenben van egy lényeges ismérve: a maga módján más, mint az eddigi gabonafélék és ennek a növénynek megvan a saját helye és szerepe a köztermesztésben.

Schlegel (1996) német szerző szerint a rozs genom adja a jobb vízhasznosítást, a kedvezőbb tápanyaghasznosító képességet, a kórokozókkal szembeni rezisztenciát és alkalmazkodóképességet, míg a búza gének biztosítják a megfelelő termést és minőségi tulajdonságokat. A Tritikálé turgidocereale (6x) képviseli a legfontosabb genom kombinációt, ugyanis egyesíti a rozs teljes RR genomját és a tetraploid búza teljes AABB genomját.

Franciaországban a legfőbb nemesítési célok: nagy termőképesség, jó rezisztencia a fontosabb betegségekkel szemben, kitűnő télállóság, a korai kicsírázásra való hajlam csökkentése és a könnyű csépelhetőség (Bernard et al. 1996) a fő cél.

2001-ben 14 őszi tritikálé és 2 tavaszi tritikálé fajta szerepelt a Nemzeti Fajtajegyzékben, amelyek közül 10 lengyel, 3 német, 1 osztrák, 1 (akkori) jugoszláv és 1 pedig magyar nemesítésű volt. Azonban 2020-ban a Nemzeti Fajtajegyzékben

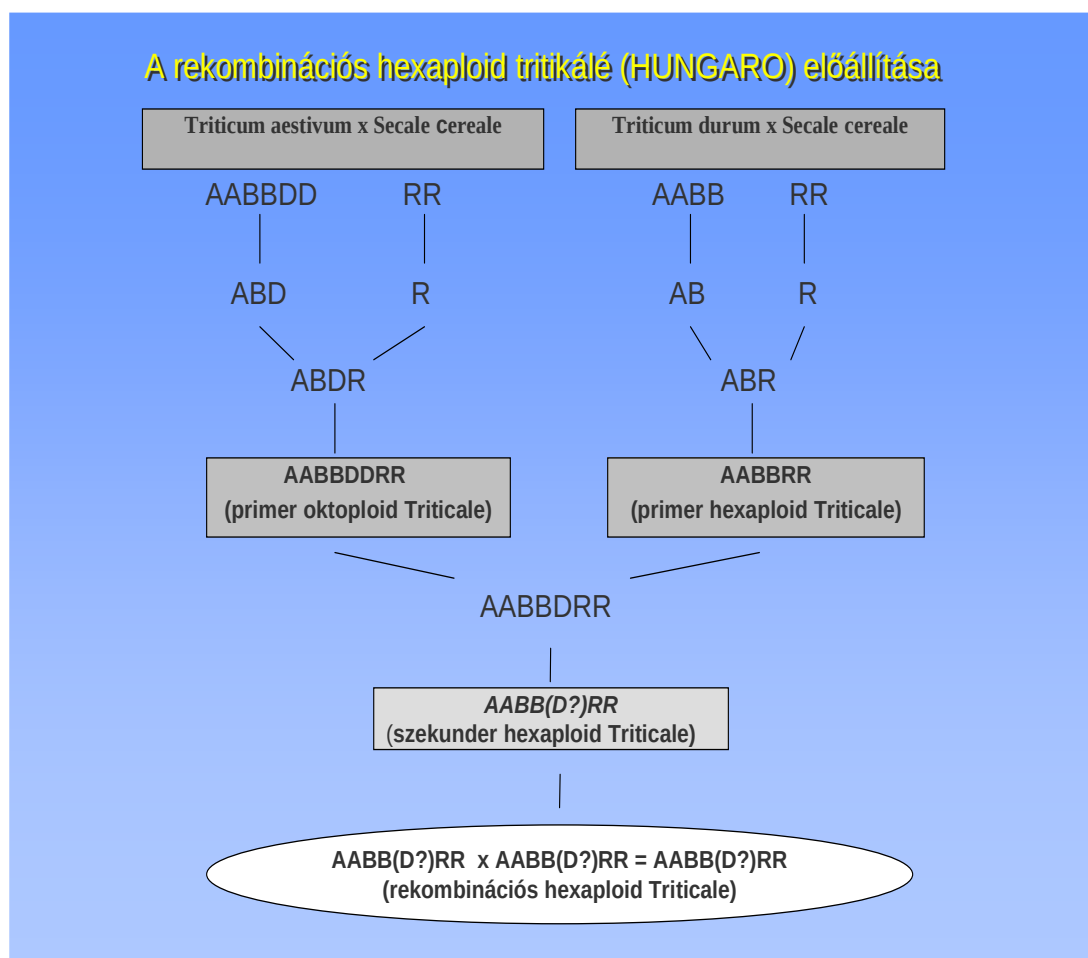
szereplő 17 fajta közül már 13 magyar nemesítésű, amelyek uralják a hazai vetésterületet. Ma a gyakorlatban termelt tritikálé fajták kizárólag szekunder és rekombinációs tritikálé fajták, hexaploid tritikálé kromoszóma állománnyal ($2n = 6x = 42$) (Kruppa és ifj. Kruppa 2022).

A tritikálé elsősorban takarmánygabona növény, de a legújabb időktől már számításba vehetjük, mint kenyérgabonát is. A rozsnál 15-20 %-kal (relatív %) több fehérjét tartalmaz. Takarmányértéke nagyobb, tápértéke jobb. A tritikáléból sült kenyér tápértéke is nagyobb a rozsénál, a szemtermés takarmányértéke nagyon kedvező, aminosav összetétele nagyon előnyös (ifj. Kruppa et al. 2014). A jelenlegi fajták szemtermése azonban inkább abraktakarmánynak alkalmas. A nemesítésnek jó lehetősége van a sütőipari minőség javítására, a munkálatok ez irányban is folyamatban vannak. A további nemesítés feladata a kedvező tulajdonságokra történő szelekció és ezek rögzítése. Ezzel ellentétben a kedvezőtlen tulajdonságokat pedig igyekszünk kiküszöbölni (Szabó 1981).

Varughese (1996) szerint mostanáig az egyetlen ismert hiányossága a tritikálénak az, hogy az „R” genom rontja a sütőipari minőséget. Néhány kutatóintézetben már folynak a kísérletek, hogyan lehetne a nagy molekulásúlyú glutenint hordozó allélt a „D” genomról átvinni az „R” genomra. A szerző közlése szerint Kaliforniában Lukaszewski megvizsgálta a D genom valamennyi kromoszómájának szerepét a tritikálé tulajdonságaira és arra a következtetésre jutott, hogy az 1D kromoszómának van a legnagyobb hatása a sütőipari tulajdonságra. Megindultak a kísérletek, hogy ezeket a kedvező allélokat beépítsék a tritikáléba és ezáltal kedvezőbb sütőipari minőséget érjenek el. Ha egyszer ezt sikerül elérni, akkor biztosak lehetünk benne, hogy a tritikálé sütőipari tulajdonságai elérik a búzáét (Varughese, 1996). Ez óriási lehetőség a tritikálé számára, hogy a búza közvetlen versenytársává váljon az emberiség folyamatosan növekvő élelmiszerigényének kielégítésében.

A közönséges búza (*Triticum aestivum* L.) és a hexaploid tritikálé között sütőipari értékben – a búza javára – mutatkozó különbséget a búzában jelenlévő DD genompár okozza. A hexaploid tritikáléban a DD genom a rozsból származó RR genompár helyettesíti. (AABBRR) Az eredeti oktoploid tritikálé genomja tartalmazza a DD genompárt is, így ennek sütőipari tulajdonságai jobbak, viszont

endospermiumának kiteltsége és termőképessége gyengébb. A tritikálé fajták keresztezésekor a tulajdonságok rekombinálódása miatt nagyszámú, igen különböző hibrid keletkezik, így hagyományos nemesítési módszerekkel is eredményes lehet a tritikálé lisztminőségének, sütőipari tulajdonságainak a javítása, mivel a szekunder hexaploid tritikálék tartalmazhatnak a hexaploid búza D genomjából származó géneket is (Kruppa és ifj. Kruppa 2011a; Kruppa és ifj. Kruppa 2011b). Ezt a lehetőséget kihasználva sikerült előállítani az új rekombinációs tritikálé fajtát (2. ábra), a *Hungaro*-t (Kruppa és Hoffmann 2006). Genomösszetételének vizsgálatához multicolour GISH-t alkalmaztunk Martonvásáron, amellyel kimutattuk, hogy a fajta tartalmazza a búza AB – genomot (AABB = 28 kromoszóma) és a teljes rozs (R) genomot (RR = 14 kromoszóma). Azonban a GISH-módszer érzékenységi tartományában a D genomhoz tartozó kromoszóma, vagy szegment jelenléte nem volt igazolható, ehhez további „mélyebb” vizsgálatok szükségesek (ifj. Kruppa et al. 2017; Kruppa et al. 2024).



2. ábra: Rekombinációs hexaploid tritikálé (Hungaro) előállítása (Kruppa és Hoffmann 2006).

Győri et al. (2009) kísérleteket végeztek, hogy megvizsgálják az őrlés és utófeldolgozások hatását a kenyér fizikai és táplálkozási tulajdonságaira. A tritikálé versenyképes nyersanyaga a kenyérből készítésnek, köszönhetően a magasabb ellenállóképességének a környezeti hatásokkal szemben, az alacsonyabb kereskedelmi árértékének és a magasabb beltartalmi paramétereinek. A tritikálé új lehetőségeket kínál arra, hogy egészséges és szer-mentes élelmiszeripari termékeket, elsősorban pékárukat állítsunk elő belőle, környezetbarát módon.

Az étkezési tritikálé fajták termesztése és a belőlük készíthető liszt, kenyér- és tésztafélék, mint új élelmiszerek előállítása óriási lehetőség lesz arra, hogy az emberiség folyamatosan növekvő élelmiszerigényét egy kitűnő alkalmazkodóképességű, nagyfokú abiotikus és biotikus rezisztenciával rendelkező és nagy termőképességű gabonával - a tritikáléval és annak környezetbarát termesztésével elégítsük ki. Tehát a tritikálé fontos növény lehet a fenntartható mezőgazdaság és az egészséges élelmiszer előállítás számára. A tritikálé elterjedése a humán táplálkozásban új egészséges élelmiszer alternatívát jelenthet a hagyományos gabonafélékből készült készítmények mellett (Kruppa és ifj. Kruppa 2011a).

A fenti irodalmakból megállapítható, hogy a tritikálé mesterségesen előállított új értékes kalászos gabonanövény, amely egyesíti magában a búza és a rozs kedvező tulajdonságait, de nem helyettesíti sem a rozsot, sem a búzát, de mégis más, mint azok és ezért ennek a gabonafélének megvan a helye és szerepe a termesztésben és felhasználásban. Elmondhatjuk tehát, hogy - bár számos negatív tapasztalat bizonyítja az ember beavatkozásának kedvezőtlen hatását a természet rendjébe – a tritikálé előállítása egy pozitív példa az emberi alkotásra.

Külön örömdetes számunkra - magyaroknak, hogy az első szekunder hexaploid tritikákálék előállításában világhírnévre tettünk szert Kiss Árpád révén.

2.2. Alkalmazott dihaploid módszerek tritikáléban

A DH növénynemesítési technológiák alkalmazása a homozigóta vonalak létrehozásának leggyorsabb módja. Ezen technikák számos előnye az elmúlt évtizedekben is megőrizte kiemelkedő szerepét a növénynemesítésben és -kutatásban. A kortárs növénynemesítési technikák hatékonyságának további növelése érdekében ezek a megközelítések más biotechnológiai technikákkal, például markerszelekcióval, QTL-analízissel, genetikai transzformációval, génpiramidálással vagy *in vitro* mutációval kombinálhatók. Számos módszer létezik a DH növények létrehozására (Dunwell 2010).

Tritikálé esetében az androgenezis-alapú technikák (izolált mikrospóra-tenyészet és *in vitro* portoktenyészet) gyakran alkalmazott eszközök a DH növények előállításához. Két kínai kutatócsoport számolt be egyidejűleg az első tritikálé portoktenyészetből származó növényekről (Sun et al. 1973; Wang et al. 1973). A Gabonakutató Nonprofit Kft. kutatói, Pauk János és munkatársai állították elő elsőként a világon mikrospóra tenyészet eredetű tritikálé növényeket (Pauk et al. 2000). Azóta számos kísérlet történt izolált mikrospóra- és portok kultúra felhasználásával a tritikálé *in vitro* androgenezisének hatékonyságának javítására (Chien és Kao 1983; Hassawi et al. 1990; Karsai et al. 1994; Arzani és Darvey 2001; Marciniak et al. 2003; Immonen és Robinson 2000; Pauk et al. 2003a; Oleszczuk et al. 2004; Lantos et al. 2005; Eudes és Amundsen 2005; Zur et al. 2008, 2009, 2019; Würschum et al. 2012; Lantos et al. 2014; Maheshwari és Laurie 2021).

A közelmúlt molekuláris genetikai kutatásai rávilágítottak a tápközeg összetevőinek jelentőségére, valamint feltárták a tritikálé *in vitro* androgenezise során lezajló metabolomikai változásokat (Pachota et al. 2022; Orłowska 2022; Orłowska et al. 2023). Jelenleg mind a portok-, mind az izolált mikrospóra-tenyésztés sikeresen alkalmazható a tritikálé esetében, azonban a portoktenyésztés egyszerűbb kivitelezhetősége és alacsonyabb költségei miatt előnyösebb (Maheshwari és Laurie 2021). Ugyanakkor több olyan tényező is ismert – például a genotípus-függőség, az albinizmus gyakori előfordulása, valamint a spontán kromoszóma-megkettőződés alacsony aránya - amelyek korlátozzák a DH törzsek nagyarányú előállítását a tritikálé nemesítés céljaira (Tuvešson et al. 2000; Tuvešson et al. 2003; Wedzony, 2003; Mozgova et al. 2012; Zur et al. 2021).

A számos erőfeszítés és fejlesztés ellenére mindezekig csupán néhány tanulmány számol be a portokkultúra alkalmazásáról a tritikálé nemesítésében (Thomas et al. 2003; Oleszczuk et al. 2011). Ezért a módszerek további optimalizálása továbbra is jelentős kihívást jelent a kutatók számára annak érdekében, hogy genotípus-független, hatékony protokoll álljon rendelkezésre a tritikálé DH-növényeinek nagyléptékű előállításához.

A DH technika egyik legnagyobb előnye, hogy a heterozigóta egyedekből rövid idő alatt homozigóta utódokat lehet előállítani. Ez nemcsak a növénynemesítési folyamat hatékonyságát növeli, hanem lehetővé teszi kiváló térképező populációk létrehozását is, például QTL-analízisekhez. Mindkét alkalmazási terület esetében alapvető követelmény a genetikai tisztaság, valamint a létrehozott DH-törzsek szigorú homogenitása. A homozigótaság fenntartása különösen kulcsfontosságú a DH-törzsek fenntartása és szaporítása során, főként olyan tritikálé genotípusok esetében, amelyeknél az önbeporzás nem teljes mértékben biztosított (Lagunovskaya et al. 2020; Zimny et al. 2021).

A DH-vonalak homozigótasága generációról-generációra nyomon követhető molekuláris genetikai markerek segítségével (Lagunovskaya et al., 2020). A jelenleg rendelkezésre álló kodomináns molekuláris markerek hatékony eszközt nyújtanak a tenyészanyag genetikai jellemzéséhez, valamint a homozigótaság ellenőrzéséhez. A mikroszatellit-alapú vagy SSR (Simple Sequence Repeat) analízis a nemesítési gyakorlatban széles körben alkalmazott és bevált módszer (Torjek et al. 2001; Chege et al. 2021).

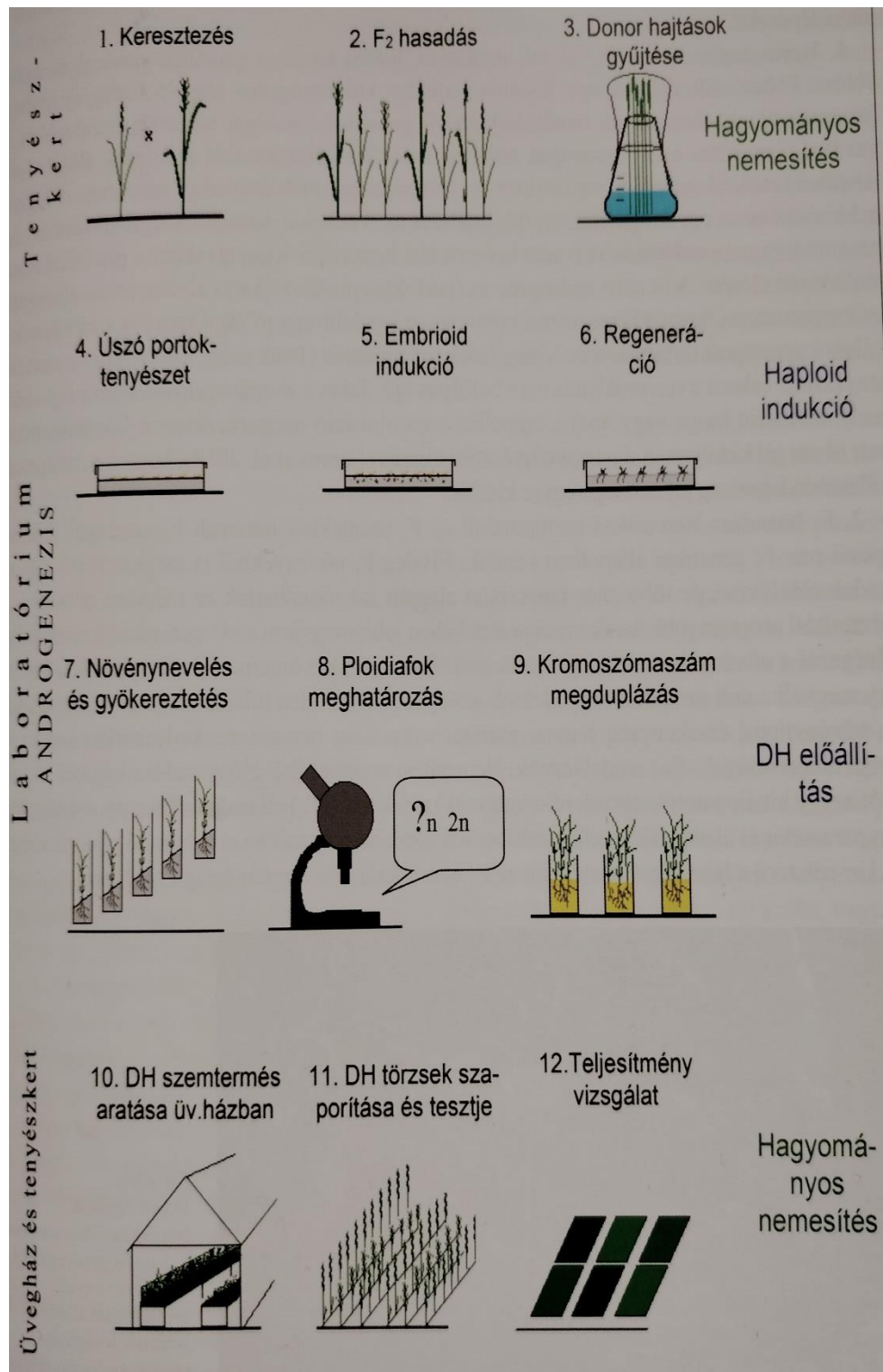
2.3. A dihaploid (DH) növények integrálása a nemesítésbe

A hatékony DH növénynemesítési módszerek alkalmazása egyre inkább előtérbe kerül a modern növénynemesítési- és kutatási programokban (Dunwell, 2010; Longin et al. 2014; Islam és Tuteja 2012; Lantos et al. 2016, 2019; Oleszczuk és Lukaszewsky 2014; Nagy et al. 2022; Lantos et al. 2022).

A XX. század végétől megjelentek olyan biotechnológiai alapokon kidolgozott módszerek, mint például genetikai transzformáció, génszerkesztés (precíziós

növénynemesítés) és az *in vitro* androgenezis, amelyek hatékonyan támogatják a növénynemesítést és új nemesítési módszerként használjuk őket napjainkban. A dolgozat egyik részében az utóbbival, az *in vitro* androgenezissel foglalkoztunk, ezt a módszert használtuk vizsgálataink során.

Az *in vitro* androgenezis alaplépéseit és a Pedigré módszerbe való beépítését a 3. ábra szemlélteti. Az első három lépés a nemesítési anyag variabilitásának előállítását és az alapanyag begyűjtését foglalja magába. A következő hat lépés tartalmazza az androgenezisre alapozott laboratóriumi munkákat, melyek során előállítjuk a genetikailag homogén DH törzseket. Az utolsó három lépésben hagyományos nemesítési mozzanatok zárják a nemesítési folyamatot (Pauk 2003; Kruppa és Pauk 2022).



3. ábra: Az öntermékenyülő növények portoktenyésztésére alapozott (*in vitro* androgenesis) módszer rész-lépései (hagyományos és laboratóriumi). (Kruppa és Pauk 2022)

Az *in vitro* androgenesis sikeres alkalmazását alapvetően meghatározza, hogy a keresztezési kombináció legalább egy jó vagy közepes androgenesis válaszú genotípust tartalmazzon. A jó androgenesis válaszú fajta bármely (anya, apa)

szülőként részt vehet a kombináció megtervezésekor, mert vizsgálatok kimutatták, hogy a jó portoktenyésztési választ a reciprokhatás nem befolyásolja (Pauk et al. 1991). Napjainkra már annyira jól kidolgozott a portoktenyésztési eljárás, hogy egyre kisebb a jelentősége van a genotípus válaszdó képességének (Lantos et al. 2013).

A F_2 generáció hasadását érdemes megvárni a nemesítési program indításakor és ekkor elkezdni, elvégezni a növények szelekcióját. Ha fontos szempont a gyorsaság, és a donor kalászok begyűjtését el szeretnénk kezdeni az első (F_1) generációban, akkor a kalászok begyűjtését már el lehet kezdeni az F_1 növényeken. Fontos azonban tudni, hogy ebben az esetben a DH növények random genetikai szituációból születnek és nagyon sok lesz közöttük a negatív variáns (Pauk et al. 2003b).

A donor kalászok begyűjtése és hideg előkezelése után a „nemesítés” steril körülmények között folyik tovább. Nagyon fontos, hogy az indukcióhoz megfelelő tápközeget válasszunk. Bizonyították a Cu(II) és Ag(I) kulcsszerepét az androgenezis indukciójában (Purnhauser és Gyulai 1993; Bednarek 2022; Orłowska 2022, 2023; Pachota et al. 2022). Tehát a táptalaj összetétele és a hozzáadott komponensek tovább növelhetik az androgenezis indukció hatékonyságát (Niazian és Shariatpanahi 2020; Asif et al. 2014; Maheshwari és Laurie 2021).

A növényregenerálás szakaszában az embrioidokból (ELS) zöld- és albínó növénykéket kapunk. Az ELS-ek zöld növényekké történő regenerálása, ennek százalékos aránya szintén fontos paramétere az *in vitro* androgenezisnek. Az albinizmust és a genotípus-függőséget a tritikálé portoktenyésztés korlátozó tényezőiként említik sokan (Tuveson et al. 2000; Eudes és Amundsen 2005; Gonzalez et al. 2005; Krzewska et al. 2012; Zur et al. 2008; Lantos et al. 2014; Gonzalez et al. 1997; Ponitka et al. 1999; Tuveson et al. 2003; Warzecha et al. 2005; Mozgova et al. 2012). Mára azonban ebben a két paraméterben is jelentős javulás tapasztalható (Lantos et al. 2013).

A spontán kromoszóma-kettőződés százalékos aránya általában alacsony a tritikálé portoktenyésztésében, és a publikációkban – szerzőktől függően - jelentős különbségek olvashatóak (Arzany és Darvey 2001; Lantos et al. 2014 (13.54%), Würschum et al. 2012 (32.1%)). *In vitro* vagy *in vivo* kolchicines kezeléssel növelhető a DH növények aránya. A kolchicin indukciós vagy regenerációs közegben való

alkalmazása lehetővé teszi a tritikálé DH vonalak nagyobb volumenű előállítását (Würschum et al. 2012; Maheshwari és Laurie 2021; Ślusarkiewicz-Jarzina et al. 2017).

A tritikálé portoktenyésztéséből regenerált növények ploidiafokának meghatározására több módszer is létezik, például a gázcsereenyílás (sztóma) hosszának mérése, a kromoszómák megszámlálása hagyományos citológiai preparátumokon, vagy az áramlási citometriás meghatározás. Az utóbbi módszer – az áramlási citometria – ma már a legszélesebb körben alkalmazott technika a tritikálé és más kalászos gabonák esetében, mivel gyors, és megbízható eredményt nyújt a ploidia fokról (Pfosser et al. 1995; Najafi et al. 2022). A ploidiafok meghatározása után az akklimatizált haploid növényeket kolchicinnel kezelik, hogy tovább gyarapítsák a DH növények számát (Arzany és Darvey 2001).

A laboratóiumi munka utolsó lépése, hogy begyűjtsük a szemtermést a rediploidizált növényekről. A hagyományos pedigré nemesítési folyamat ettől a résztől kapcsolódik be újra a nemesítési folyamatba. A nagyszámban előállított genetikailag homozigóta DH növények a nemesítésben kiválóan felhasználhatóak, mint nemesítési alapanyagok (Kruppa és Pauk 2022).

2.4. A rozs és tritikálé mint tömegtakarmány

A hazai tömegtakarmány előállítás döntően a silókukoricára alapozott, de a kukorica aszályérzékenysége igen jelentős. Márton (2015) kísérleteiben arra a következtetésre jutott, hogy a jövőben a kukorica számára optimális csapadék mennyiségek előfordulása és az optimális termések elérésének lehetősége csökkenni fog, ezért az öntözés szerepe egyre jobban meghatározóvá válhat. Ezt a kockázati tényezőt jelentősen mérsékelni tudjuk alternatív tömegtakarmányok pl. gabonafélék termesztésének ilyen irányú technológiai fejlesztésével. A tömegtakarmány termesztésünket jelenleg és a jövőben is nagyobb biztonsággal alapozhatjuk a kis vízigényű őszi kalászos gabonafélékre - elsősorban a rozsra és tritikáléra, amelyek a téli csapadékot hasznosítva kora tavasszal már nagy zöldhozamra képesek, sokszor kiváló táplálóanyag értékekkel együtt (Kruppa et al. 2018a).

Hazánkban egyre jobban növekszik a rozs tömegtakarmány-termő területe, emellett a világ számos más országában a tritikálét is elkezdték erre a célra termesztetni. Így pl. az USA-ban, Mexikóban, Kanadában, Afrikában, Olaszországban és Ausztráliában is egyre nagyobb teret kap a zöldtakarmány célú termesztése. Az eddigi kísérleti és termesztési eredmények alapján a magyar nemesítésű őszi rozs - és tritikálé fajták és vetőmagjaik kiváló biológiai alapokat biztosítanak a hazai kalászos gabona tömegtakarmány termesztéshez (Kruppa et al. 2018b).

Kruppa (1995) rozstermesztésről szóló közleményében kiemeli a középmagas és magas szárú hazai rozsfajták kitűnő alkalmazkodóképességét. Ezen fajták gyenge termékenységgű homoktalajokon végzett kísérleteikben felülmúlták a külföldi (lengyel és német) fajták és hibridek termőképességét.

A magánnemesítés eredményeként Állami Elismerésben és Növényfajta – oltalomban is részesült újabb magyar fajták; a Ryefood rozs és a Hungaro tritikálé étkezési - és takarmánygabona termesztésére is kiválóan alkalmasak és jó a szárazság – és a stressztűrő képességük (Kruppa és ifj. Kruppa 2012). Hoffmann et al. (1998, 1999, 2001, 2002) cikkeikben arról számolnak be, hogy az 1998-2002 közötti időszakban kutatásba bevont magyar nemesítésű rozs és tritikálé genotípusok jó stressztűrő képességgel rendelkeznek, elsősorban szárazságtűrésre, vagy tápanyaghiányra, de egyes genotípusok mindkét tényezővel szemben.

Új lehetőség a rozs és tritikálé zöld tömegtakarmány célra történő hasznosítása, illetve a Hungaro az első olyan tritikálé fajta, amely étkezési célra is alkalmas (Kruppa 2015, 2016). Lukács és Futó (2018) megállapították, hogy a fajták és a vetőmagtermesztés eredményei alapján az utóbbi években javul ugyan a tritikálé fajták felújítási aránya, de még mindig nem éri el a 20%-ot, ami igen kedvezőtlen. Törekedni kell az új fajták minél nagyobb arányú felújítására, ami biztosítéka a garantált minőségű végtermék (zöld- és szemtermés) előállításnak. .

Az őszi gabonafélék korai (áprilisban, amikor a kalász még hasban van, BBCH 45-49) betakarításakor az alacsony keményítőtartalmat kompenzálja a kedvező emészthetőség, továbbá a jól emészthető rostból származó energia és a magasabb fehérjetartalom. A rozs alapvetően 'egyfunkciós' korai zöld tömegtakarmány alapanyag. Érdekes olyan növényekkel is kísérletezni, amelyek 'többfunkciósak'.

Ilyen az új hazai tritikálé fajták közül kettő (Hungaro és Dimenzio), amelyek ígéretesnek tűnnek, mert hozamukban és tápláléértékükben vetekszenek a rozssal április végén, de tejes érésben betakarítva is még kiváló tömegtakarmányt biztosítanak a növények részére, sőt érett szemtermésük is jó abraktakarmány (Hoffmann et al. 2016a; Orosz 2017a; Orosz 2017b; Orosz et al. 2017; Kruppa et al. 2017; Orosz et al. 2018).

A gabonafélék zöld tömegtakarmányként történő betakarítása a zászlóslevél kiterülése előtti szakaszban hasonló neutrális detergens rost- (NDF) tartalmat eredményez, mint a viaszérés szakaszában (Khorasani et al. 1997), azonban ebben a korai fenológiai állapotban a rost emészthetősége szignifikánsan jobb, ami kedvezőbb takarmányozási értéket biztosít (Arieli és Adin 1994).

A rozs korán betakarítva jó minőségű zöld tömegtakarmányt biztosít a nagytejű tehenek részére (Orosz és Hoffmann 2013; Orosz et al. 2014). A rozs tömegtakarmány termesztéséhez rendelkezünk versenyképes hazai biológiai alapokkal – a Ryefood fajtával, és annak fémzárolt vetőmagjával (Iván és Kruppa 2015). A Ryefood rozs fajtát egyre nagyobb mértékben termesztik zöldtakarmánynak, amelynek nagy előnye, hogy tavasszal korán ad jó minőségű zöld tömegtakarmányt, tápanyag – és vízigénye kicsi, amely a téli csapadékkal és kevés műtrágyával kielégíthető.

Kruppa et al. (2018b) megállapították, hogy a klímaváltozás hatására a nyári félév csapadékmennyisége várhatóan csökkenni fog. A vizsgált tritikálé és rozs fajták a téli félév csapadékával nagy mennyiségű zöldtakarmány megtermelésére képesek. Megállapították, hogy a tritikálé zöld tömegtakarmány alkalmas a rozs kiváltására, illetve azzal együtt kiválóan termesztendő. A tritikálé kedvező tömegtakarmány minősége tovább fennmarad, mint a rozsé. A tritikálé zöld tömegtakarmány ezért hosszabb ideig ad kedvező minőséget, így a betakarítás jobban szervezhető, mint a rozs esetében.

A tritikálé hazai nemesítése az utóbbi években új lendületet kapott, különösen a kettős hasznosítású fajták fejlesztésében. Bóna et al. (2024) kiemelték, hogy a legújabb nemesítési cél a szemtermés és a zöld biomassza együttes optimalizálása, vagyis a kettős hasznosítás biztosítása. Ez a megközelítés lehetőséget nyújt arra, hogy a tritikálé a hazai takarmányozásban és a szemtermés-alapú hasznosításban egyaránt

versenyképes alternatívát jelentsen. A hazai nemesítési irányokat támogatja Áy et al. (2015) kutatása is, amely szerint a teljes zöld növény fehérjetartalma alapján történő szelekció – különösen biogazdálkodási környezetben – új lehetőségeket kínál a beltartalom célzott javítására.

A nemzetközi kutatások egyre nagyobb figyelmet szentelnek az alternatív egyéves tömegtakarmány-növények szerepének, különösen olyan térségekben, ahol a lucerna vagy a kukorica alapú rendszerek az időjárási szélsőségek miatt kiszámíthatatlanabbá válnak. Braunwart et al. (2001) az Egyesült Államokbeli Kalifornia államban végzett vizsgálataik során arra a következtetésre jutottak, hogy a tritikálé, valamint más őszi vetésű kalászosok – például a rozs, zab vagy árpa – fontos szerephez juthatnak a jövő takarmányozási rendszereiben. A kutatás alapján a növény rövid tenyészideje lehetővé teszi, hogy vetésforgókba beilleszthető legyen más fő kultúrák mellé, így hozzájárul az éves takarmányellátás biztonságához. A tanulmány előrevetíti a tritikálé térnyerését azon gazdálkodási rendszerekben, amelyek alacsonyabb inputra törekednek, de megbízható takarmányhozamot igényelnek.

Delogu et al. (2002) olaszországi kísérleteikben a tritikálét két fenológiai fázisban takarították be, a kalászhányás és a tejes érés időszakában. A vizsgálatok során mérték a szárazanyag-hozamot és a beltartalmi paramétereket. Az eredmények szerint a tejes érés stádiumában nagyobb szárazanyag-hozamot kaptak, ugyanakkor a nyersfehérje-tartalom csökkent. Khorasani et al. (1997) kanadai vizsgálataikban a tritikálét és más kalászosokat különböző fenofázisokban (BBCH ~45-85) értékelték. A vizsgálatok kimutatták, hogy a hozam a fenológiai fejlődéssel nőtt, miközben a nyersfehérje tartalom csökkent, az NDF értékek a korai fázisokban emelkedtek, majd később csökkentek.

Cui et al. (2025) félszáraz körülmények között, két egymást követő évben értékelt 11 tritikálé genotípust a kettős hasznosítás (takarmány + szem) szempontjából. A genotípusok között jelentős különbségek voltak mind a hozamokban (friss zöld biomassa 20,1–29,8 t/ha, szemtermés 4,83–6,92 t/ha) mind a minőségben (nyersfehérje, NDF/ADF/ADL, NDFd₃₀, ásványi anyagok), és erős évjáráthatás is megjelent (pl. a rost-emészthetőség általában gyengébb volt a melegebb–szárazabb évben). Több genotípus következetesen kedvező takarmányminőséget és jó hozam-

potenciált mutatott, ami alátámasztja a tritikálé megbízható kettős hasznosításának jelentőségét félszáraz viszonyok között.

Sharma (2023) nepáli vizsgálatai során négy különböző tritikálé genotípust értékelt, és megállapította, hogy ezek között szignifikáns különbségek mutatkoztak több morfológiai és terméshozamhoz kapcsolódó tulajdonságban, különösen a maghozam tekintetében. A kísérletek kimutatták, hogy a vizsgált genotípusok 15,2–21,4 t/ha közötti zöld biomasszát és 1,97–3,56 t/ha közötti maghozamot biztosítottak. Az eredmények megerősítik a tritikálé genotípusok széles genetikai variabilitását és jó alkalmazkodóképességét Nepál nyugati régiójának agroökológiai feltételeihez, ami további nemesítési célok megvalósítását is lehetővé teszi (Sharma 2023).

Nemzetközi kutatások egyértelműen igazolják, hogy a tritikálé zöld biomasszájának beltartalmi paraméterei szoros összefüggést mutatnak a fenológiai stádiumokkal. Coblenz és Ottman (2022) amerikai vizsgálataikban kimutatták, hogy a növény fenológiai stádiumának (BBCH ~47-65) előrehaladtával az NDF tartalom emelkedik, miközben az NDF_{d48} és NEI érték fokozatosan csökken. De Zutter et al. (2023) kutatása 120 tritikálé genotípus potenciális takarmányértékének változását vizsgálta két egymást követő tenyészidőszakban, öt fenológiai stádiumon (BBCH 75-87) keresztül. A kalász, a levél és a szár eltérő mértékben járult hozzá a takarmány beltartalmi értékéhez, különösen a nyersfehérje- és a rostfrakciók tekintetében. A vizsgálat eredményei szerint az érés előrehaladtával a nyersfehérje- és cukortartalom csökkent, miközben a keményítőtartalom nőtt; a rostfrakciók (NDF, ADF, cellulóz) a teljes növény szintjén szintén csökkenő tendenciát mutattak, az NDF_{d48} viszont viszonylag állandó maradt. A tanulmány rávilágított arra, hogy a tritikálé takarmányértékének maximalizálása érdekében kulcsfontosságú a betakarítás időzítésének optimalizálása és a megfelelő genotípus kiválasztása (De Zutter et al. 2023).

A tritikálé mint zöld tömegtakarmány nemcsak beltartalmi, hanem gazdasági szempontból is releváns alternatívát kínál a silókukoricával szemben. Harper et al. (2017) tejtermelési kísérleteikben kimutatták, hogy a tritikálé- vagy búzaalapú zöldhozam akár 10%-os arányban is képes helyettesíteni a kukoricaszilázst anélkül, hogy ez jelentősen befolyásolná a szárazanyag-felvételt, és a tejhozam csak mérsékelten csökkent. A tanulmány hangsúlyozta a tritikálé kedvező rostfrakció-

emészthetőségi jellemzőit, amelyek hozzájárulnak a takarmányozás fenntarthatóságához.

Haesaert et al. (2002) belga vizsgálataiban két betakarítási időpont összehasonlítását végezték el, és megállapították, hogy még a későbbi fenológiai fázisban betakarított tritikálé is megfelelő beltartalmi paramétereket (pl. nyersfehérje, rosttartalom és emészthetőség) mutatott.

A klímaváltozás hatására csökkenő csapadék mennyiségek kockázatosá teszik a silókukorica termesztését. Az alacsonyabb kukoricaszilázs hozamok felvetik a kérdést: kielégítheti-e a gabona zöld tömegtakarmány a kukoricaszilázs egy részét a tejelő szarvasmarha takarmányozásban? Az Egyesült Királyságban több tanulmány is beszámolt hasonló tejhozamokról a virágzás kezdete után betakarított gabona tömegtakarmányok esetében (Hameleers 1998; Sinclair et al. 2005).

3. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

3.1. Haploid növények előállítása és homogenitás vizsgálat

3.1.1 A kísérlet növényanyaga és előállításának körülményei

Négy magyar nemesítésű tritikálé fajtát („Hungaro” = H, „GK Szemes” = SZ, „Dimenzio” = D, „GK Rege” = R) és nyolc F₁ hibridet („H×R”, „H×SZ”, „H×D”, „SZ×H”, „SZ×D”, „D×H”, „D×R”, „D×SZ”) használtunk donor genotípusként a portoktenyésztési kísérletünkben. A kiválasztott genotípusok szemterméseit a Gabonakutató Nonprofit Kft. (Szeged) tenyészkertjében vetettük el, és a növényeket európai standard protokoll szerint neveltük. A tápanyag utánpótlást ősszel NPK műtrágyával (1:1:1) végeztük (12 g/m²), április közepén 18 g/m² ammónium-nitráttal kiegészítve. A rovarok ellen két inszekticid kezelést alkalmaztunk. A gyomokat vetés előtt gépi kezeléssel távolítottuk el, a vegetációs időszakban vegyszeres kezelést és kézi gyomirtást végeztünk.

3.1.2 A donor kalászok előkezelése

A mikrospórák fejlődési szakaszait Olympus CK-2 inverz mikroszkóppal (Olympus, Southend-on-Sea, Egyesült Királyság) ellenőriztük. Összegyűjtöttük a korai- és középső fejlettségi állapotú, egysejtmagvas vakuólumos stádiumban lévő mikrospórákat tartalmazó donor kalászokat. Az *in vitro* androgenezis indukálására a kalászok hideg előkezelését alkalmaztuk. A donor kalászokat csapvizet tartalmazó 300 ml-es Erlenmeyer-lombikban, PVC zacskóval takarva tároltuk hidegkamrában és két hétig tartottuk 2–4 °C-on, folyamatos félhomályban.

3.1.3 Portokok izolálása és *in vitro* portoktenyésztés

Az izolálás előtt a mikrospórák fejlettségi állapotát újraértékeljük az Olympus CK-2 inverz rendszerű mikroszkóppal (Olympus, Southern-on-Sea, Egyesült Királyság). Az egy sejtmagvas, vakuólumos mikrospórákat tartalmazó kalászokból a

portokokat szemészeti csipesz segítségével izoláltuk és *in vitro* portoktenyészeteket indítottunk.

Az izolálás előtt a kalászokat 300 ml-es 2%-os NaO'Cl-oldatba helyeztük, amely egy csepp Tween-80 oldatot tartalmazott, és rázógépen 20 percig fertőtlenítettük. Sterilizés után a donor kalászokat steril desztillált vízzel háromszor leöblítettük. A donor genotípusok portokjait 55 mm átmérőjű műanyag Petri-csészékbe (Sarstedt Ltd., Newton, MA, USA) izoláltuk (100 portok/Petri-csésze, négy ismétlés/kezelés), amelyek mindegyike a két különböző indukciós tápközeg egyikét (1. táblázat), nevezetesen a W14mf (Ouyang et al. 1989; Lantos et al. 2013, 2014) vagy a P4mf (Ouyang et al. 1973; Pauk et al. 2003b) tápoldatot tartalmazta. A tenyésztés első három napjában hősokk-kezelést (32°C) alkalmaztunk sötétben, majd szintén sötét termosztátban, 28°C-on inkubáltuk a tenyészeteket, egészen az embrioidok (ELS) megjelenéséig és azok regenerációs táptalajra helyezéséig. A mikrospórákból származó ELS-ek megjelenését hetente nyomon követtük és regeneráló táptalajra helyeztük.

1. táblázat: A tritikálé *in vitro* portoktenyésztésében használt indukciós tápközegek összetevői

Komponensek	W14mf (mg/l)	P4mf (mg/l)
KNO ₃	2 000	1 150
K ₂ SO ₄	700	-
KCl	-	35
NH ₄ H ₂ PO ₄	380	-
(NH ₄) ₂ SO ₄	-	100
KH ₂ PO ₄	-	200
Ca(NO ₃) ₂ × 4H ₂ O	-	100
CaCl ₂ × 2H ₂ O	140	-
MgSO ₄ × 7H ₂ O	200	125
Na ₂ EDTA	37,3	37,3
FeSO ₄ × 7H ₂ O	27,8	27,8
MnSO ₄ × 4H ₂ O	8	-
ZnSO ₄ × 7H ₂ O	3	-
H ₃ BO ₃	3	-
KI	0,5	-
CuSO ₄ × 5H ₂ O	0,025	-
CoCl ₂ × 6H ₂ O	0,025	-
Na ₂ MoO ₄ × 4H ₂ O	0,005	-
Tiamin HCl	2	1
Piridoxin HCl	0,05	-
Nikotinsav	0,05	-
Maltóz	80 000	80 000
2,4-D	2	2
Kinetin	0,5	0,5
pH	5,8	5,8
Burgonya kivonat	-	10%
Ficoll	100 000	100 000

3.1.4 Növényregenerálás és akklimatizáció

A mikrospórákból származó, maximum 2 mm-es ELS-eket 90 mm átmérőjű műanyag Petri-csészékbe (Sarstedt, Newton, MA, USA) helyeztük át, amely '190-2 Cu' regeneráló táptalajt (Pauk et al. 2003a) tartalmazott (2. táblázat). Itt két-három hét alatt regenerálódtak a zöld- és albínó növénykéek. A zöld növénykéket egyedenként helyeztük át üvegcsövekbe gyökeresítés céljából, amelyek ugyanazt a regeneráló táptalajt tartalmazták. A jól gyökerező zöld növénykéket (4.a ábra) az üvegházban tőzeg- és homoktalaj 1:1 arányú keverékével töltött műanyag edényekbe ültettük ki (4.c ábra). A növénykéket a 3-5 napos akklimatizációs időszak alatt PVC takarással fedtük le (4.b ábra). Az akklimatizált növényeket érésig, klimatizált (20-25 °C) üvegházban neveltük (4.d ábra). Ősszel a zöld növénykéket kézzel kitültettük a DH tenyészkertbe, és a DH₀ növényeket a fent említett (3.1.1) protokoll szerint neveltük fel a betakarításig. A spontán kromoszóma-duplázódás százalékos arányát (fertilis növények száma/kiültetett növények*100) a kitültetett DH₀ növények termékeny kalászáinak betakarítása után számítottuk ki. A DH₁ generációban a DH vonalakat a tenyészkerti hagyományos protokoll (3.1.1) szerint szaporítottuk tovább.

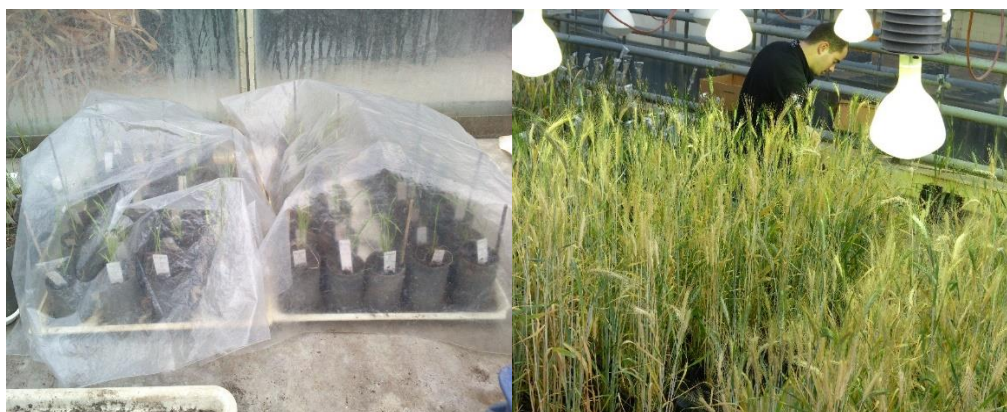
2. táblázat: A tritikálé *in vitro* portoktenyésztésében használt növényregeneráló és gyökeresítő táptalaj összetevői

Komponensek	190-2Cu regeneráló táptalaj (mg/l)
KNO ₃	1 000
KCl	40
(NH ₄) ₂ SO ₄	200
KH ₂ PO ₄	300
Ca(NO ₃) ₂ × 4H ₂ O	100
MgSO ₄ × 7H ₂ O	200
Na ₂ EDTA	37,3
FeSO ₄ × 7H ₂ O	27,8
MnSO ₄ × 4H ₂ O	8
ZnSO ₄ × 7H ₂ O	3
H ₃ BO ₃	3
KI	0,5
CuSO ₄ × 5H ₂ O	0,5
Tiamin HCl	1
Piridoxin HCl	0,5
Nikotinsav	0,5
Mio-Inozitol	100
Szacharóz	30 000
Glicin	2
Kinetin	0,5
NAA	0,5
pH	5,8
Gerlite	2,8



(a)

(c)



(b)

(d)

4. ábra: Növényregenerálás és akklimatizáció (Szeged): (a) jól gyökerező zöld növénykék, (b) 3-5 napos akklimatizációs időszak PVC-vel takarva, (c) kiültetett, akklimatizálódott zöld növénykék (d) Az akklimatizált növények nevelése érésig, klimatizált (20-25⁰C) üvegházban.

3.1.5 Primerek

A mikroszatellit analízisben alkalmazott primereket a 3. táblázat mutatja be. Az Xwmc primereket hexaploid búzára tervezték a Wheat Microsatellite Consortium/WMC által, az SCM (*Secale cereale* microsatellite) primereket a rozs genomja alapján tervezték, míg a BARC primerek egy árpa-búza USA géntérképező programból származnak. Vizsgálataink során mi is ezeket a primereket alkalmaztuk.

3. táblázat: A vizsgálatban alkalmazott SSR lókuszok és primer szekvenciák

SSR lókusz	Primer sequences 5' → 3'	Referencia
Xwmc9 F	AACTAGTCAAATAGTCGTGTCCG	(Hackauf and(Somers, Isaac, & Edwards, Wehling 2001) 2004)
	GTCAAGTCATCTGACTTAACCCG	
BARC108 F	GCGGGTCGTTTCCTGGAAATTCATCTAA	
	GCGAAATGATTGGCGTTACACCTGTTG	
Xwmc603 F	ACAAACGGTGACAATGCAAGGA	
	CGCCTCTCTCGTAAGCCTCAAC	
SCM92 F	ATC-CCC-AGC-TCC-CAA-CTC	

3.1.6 DNS izolálás, PCR, mikroszatellit analízis, allélméret meghatározása

A molekuláris genetikai analízishez a levélmintákat 2 fajta, nevezetesen a „Hungaro” (46 DH vonal) és a „GK Rege” (R, 10 DH vonal), valamint 6 hibrid, a „R×H” (5 DH vonal), „H×R” (32 DH vonal), „D×R” (12 DH vonal), „D×H” (10 DH vonal), „HxD” (3 DH vonal) és „R×D” (3 DH vonal) DH₂ nemzedékéből gyűjtöttük és végeztük el a vizsgálatot („Hungaro” = H, „GK Rege” = R, „Dimenzio” = D).

A genotípusokból a DNS-kivonásokat a Qiagen DNeasy® Plant Mini Kit segítségével végeztük a gyártó utasításai szerint (QIAGEN, Hilden, Germany). A PCR-eket Thermal Cycler GeneAmp PCR System 9700-ban végeztük 10 µl végtérfogatban, 15-20 ng templát DNS-sel. A reakcióelegy WestTeam-Taq™ DNS polimerázt (Pécsi Tudományegyetem) tartalmazott. Touchdown PCR-t alkalmaztunk, amely egy 95°C-on 3 percig tartó iniciációs lépés után a következő lépésekből állt; 10 denaturációs ciklus 95°C-on 30 másodpercig, primerkapcsolás 65°C-on 30 másodpercig, és polimerizáció 72°C-on 30 másodpercig, ahol a primerkapcsolódási hőmérsékletet minden ciklusban 1°C-kal csökkentettük. Ezt 25 denaturálási ciklus követte 95°C-on 30 másodpercig, lágyítás 56°C-on 30 másodpercig, és elongáció 72°C-on 30 másodpercig. A reakciót egy utólagos extenzióval fejeztük be 72°C-on 5 percig.

A PCR-termékeket először 1%-os TAE agarózon teszteltük, majd 6%-os poliakrilamid gélen (© Bio-Rad Laboratories, Inc., Magyarország) vertikális rendszerben (ALF-Express II., Amersham Biosciences, AP Hungary LTD, Budapest) választottuk el. Mivel minden forward primer Cy5-tel volt jelölve, az allélméreteket a kibocsátott fluoreszcens fényen alapuló DNS molekulatömeg-standardok és az ALFwin Frag-ment Analyzer 1.0 szoftver alapján lehetett meghatározni.

3.2. A tritikálé zöld tömegtakarmány és annak táplálóanyag-tartalmának vizsgálata

2017-2020 között Szarvason vizsgáltuk a különböző tritikálé fajták szemtermés-eredményeit, zöldhozamát, valamint a tritikálé zöldnövények legfontosabb táplálóanyag-tartalmi paramétereit.

A kísérletet az Orosházi főút mellett, a Mezőmag Kft. területén állítottuk be. A kísérlet talaja agyagos vályog, kémhatása savanyú illetve gyengén savanyú, a művelt réteg CaCO_3 -ot nem tartalmaz, a humusztartalom alapján a talaj N- szolgáltatása közepes volt. A talaj vízgazdálkodását a közepes vízvezető képesség és a nagy víztartó képesség jellemzi. A művelt szint tömődött, összporozítása, és ezen belül a gravitációs pórusok aránya kisebb.

A lehullott csapadék mennyisége 2016 szeptemberétől 2017 májusáig, a tritikálé zöldhozam és terméseredmény szempontjából fontos tenyészedőben csapadékos őszi-téli és egy igen száraz tavaszi időjárást regisztráltunk. Ez a tritikálé szempontjából csak közepes termesztési körülményt jelentett, mert az őszi csapadéktöbblet a talajok túltelítettségét, levegőtlen állapotok kialakulását eredményezte. November- és december hónapban lényegesen kevesebb csapadék hullott, de ezt a megelőző időszak csapadékbősége bizonyos mértékben ellensúlyozta. A tavaszi időszak a zöldtömeg és a szemtelítődés szempontjából szintén nem volt túlságosan kedvező, mert jelentős csapadékhiány uralkodott a kísérlet ideje alatt. A növények ebben az időszakban többségében a talajban tárolt vízkészletet tudták hasznosítani. A lehullott csapadék mind mennyiségét, mind pedig időbeli eloszlását tekintve csak közepes vízellátottsági körülményt jelentett a tritikálé számára (4. táblázat). 2016-2017. tenyészidőszakban - szinte teljes egészében - kevesebb csapadék hullott, mint a sokévi átlag, amelynek

köszönhetően a tritikálé a legérzékenyebb, virágzás körüli fejlettségi időszakát már jelentős vízhiányos területen tudta csak megkezdeni. A téli félév átlag körüli, vagy minimális csapadékhiánya sem javította a tritikálé terméspotenciálját, amelynek eredményeként elmondható, hogy a 2017. év is csupán jó-közepes klimatikus viszonyokat teremtett a tritikálé számára.

4. táblázat: Időjárási adatok a szeptember – május 2016. – 2020., Szarvas (ifj. Kruppa et al. 2025)

hónap	szept.	okt.	nov.	dec.	jan.	febr.	márc.	ápr.	máj.	jún.	összeg
Csapadék (mm) 2016/17.	9,8	72,7	49,6	1,0	28,3	30,2	13,4	49,7	40,9	69,3	364,9
Csapadék (mm) 2017/18.	74,2	33,7	39,6	89,2	18,3	70,3	75,2	11,7	37,4	31,0	480,6
Csapadék (mm) 2018/19.	14,5	10,6	36,3	34,9	31,1	8,8	2,2	45,2	111,9	119,0	414,8
Csapadék (mm) 2019/20.	46,8	18,6	52,6	43,2	6,8	53,7	43,0	10,3	43,9	129,8	448,7
30 éves csapadék	39	43	49	40	30	32	31	44	59	68	435,0
Eltérés 2016/17. (mm)	<u>-29,2</u>	29,7	0,6	<u>-39,0</u>	-1,7	-1,8	<u>-17,6</u>	<u>-18,2</u>	<u>-18,1</u>	1,3	-70,1
Eltérés 2017/18. (mm)	35,2	-9,3	-9,4	49,2	-11,7	38,3	44,2	<u>-32,3</u>	<u>-21,6</u>	<u>-37,0</u>	45,6
Eltérés 2018/19. (mm)	<u>-24,5</u>	<u>-32,4</u>	<u>-12,7</u>	-5,1	1,1	<u>-23,2</u>	<u>-28,8</u>	1,2	52,9	51,0	-20,2
Eltérés 2019/20. (mm)	7,8	<u>-24,4</u>	3,6	3,2	<u>-23,2</u>	21,7	12	<u>-33,7</u>	<u>-15,1</u>	61,8	13,7

A 2017-2018-as tenyészidőben az őszi félévet inkább a csapadékbőség jellemezte, szeptemberben és decemberben is jelentős csapadéktöbblet alakult ki, amely ellensúlyozta az októberi és novemberi minimális csapadékhiányt. A tavaszi félév ezzel ellentétben jelentős száraz periódusokat hozott. Igen csapadékhiányos volt az április, május, június hónap, amely egybeesett a tritikálé intenzív növekedésével, a virágzásával. A növények ezt csak a téli csapadékbőséggel és a talajban tárolt téli csapadékkal tudták átvészelni, drasztikusabb hozamcsökkenés nélkül. Az év ezért a hozamok szempontjából csak közepes volt.

A 2018-2019-es tenyészidőben az előzőektől eltérő évjáráttal találkoztunk. A téli félév rendkívül száraz, csapadékszegény volt, amely egészen 2019. áprilisának közepéig tartott. Ez a 6 hónapig tartó csapadékszegény időszak az őszi vetésű gabonák számára kedvezőtlen induló feltételeket teremtett. A tenyészidő utolsó két hónapjában igen jelentős csapadékmennyiség hullott 111,9 mm és 119,0 mm, amely kissé kompenzálni tudta az előző időszak negatív hatásait. Összességében a kezdeti

csapadékszegény időszak miatt ez a tenyészidőszak csak gyenge-közepes volt a tritikálé fajták számára.

A 2019-2020-as tenyészidőben kijelenthetjük, hogy a tenyészidőszak rendkívül változékony volt, a csapadékhiány, a csapadéktöbblet és az átlagos csapadék mennyiség egyaránt előfordult az év során. A téli félév folyamán a csapadék mennyisége alig maradt el a sokévi átlagtól, a hiányt a februári csapadéktöbblet jórészt pótolni tudta. A tenyészidő legkritikusabb pontja volt az áprilisi csapadékhiány, amely a tritikálé legintenzívebb növekedési, fejlődési időszakában következett be. A júniusban bekövetkezett közel 130 mm csapadék pedig már inkább akadályozta a szemek érését, vízleadását, a zöldhozamok szempontjából pedig már nem volt releváns, addigra az állomány betakarításra került. Az egyenletes csapadékú téli félévnek köszönhetően az év jónak számított a hozamok szempontjából.

A kísérletben vizsgált tritikálé fajták (genotípusok): „Hungaro”, „Dimenzio”, „GK Szemes”, és „GK Maros”. A kísérlet mind a négy évében mértük a terméseredmény alakulását, és a zöldhozamot. A kaszáláskor mértük a zöldtermést és szárazanyag tartalmat, továbbá a mintákból a takarmányértéket (nyersfehérje, nyersrost, NDF, dNDF, NDFd₄₈, NEI, lizin, metionin). A kaszálási időpontokat úgy választottuk meg, hogy nyomon lehessen követni mind a hozamok, mind pedig a növény minőségének, táplálóanyag-tartalmának alakulását. A zöldhozamok tekintetében fontos volt az azonos szárazanyag tartalomra történő átszámítás, hogy a fajták teljesítménye összehasonlítható legyen. A kísérlet eredményeként kapott kaszálási hozamokat ezért átszámítottuk 30%-os szárazanyag tartalomra. Az átszámítás alapja az volt, hogy a 30%-os szárazanyagtartalom eléréséhez szükséges víz mennyiségét levontuk a zöldhozamból, szimulálva a fonnyasztásból adódó vízvesztéséget. Az utolsó kaszálás szárazanyag tartalma az erős vízvesztés következtében már elérte a 30%-os szárazanyag tartalmat. Az ebben a fejezetben és a továbbiakban is szereplő zöldhozam mennyiségi adatok a korrekt összehasonlíthatóság miatt mind 30% szárazanyag tartalomra korrigált értékben értendő.

A kísérlet minden évében egységes agrotechnikában részesítettük a fajtákat. Az alkalmazott agrotechnika a következő volt:

- a töszám egységesen 5,2 millió tő/ha,
- tápanyagellátás 37,5 Kg N, 37,5 Kg P₂O₅ és 37,5 Kg K₂O hatóanyag összével, majd 52 Kg N hatóanyag kijuttatása történt tavasszal
- gyomirtás: 7,5 g/l tienkarbazon-metil (TCM), és 300 g/l 2,4-D-etil-hexil-észter, 10 g/l jodoszulfuron hatóanyag és a 30 g/l széfener (mefenpir-dietil) tartalom volt a gyomirtó szerben. A gyomirtó szer dózisa 1 l/ha.
- Fungicid: 250 g/l fenpropimorf, 84 g/l epoxikonazol. A fungicid dózisa 1 l/ha.
- Insekticid: 50 g/l (4,8 m/m %) deltametrin. A szer dózisa 0,15 l/ha.

A talajművelés egységesen sekély művelés volt, gabonafélék számára, az alpművelést tárcsával, a magágykészítést kombinátorral végeztük a kísérletben.

A mérések módszere:

A zöldhozam méréseket a parcellák (5.a ábra), a tritikálé fajták különböző fenológiai fázisában történő kaszálásával végeztük, a BBCH skálát alkalmazva. Minden évben, minden kaszálási időpontban az összes fajtából 4 darab 1 m²-es mintát vettünk (5.b ábra). Az első kaszálás időpontja akkor volt, amikor a fiatal kalász kb. 6 cm hosszú, és még nem bújta elő a levélhüvelyből (hasban van), ez a fejlettségi állapot BBCH 45 volt. A következő kaszálásokat az első követő 7 naponta végeztük. A növények fejlettsége a következő volt: második kaszálás BBCH 49 (az első toklászok megjelenése), harmadik kaszálás BBCH 58 (a kalász 80%-a kiemelkedett), negyedik kaszálás BBCH 65 (teljes virágzás idején).

A betakarított zöld gabonanövényeket (5.c ábra) ezután 2-5 cm nagyságú darabokra aprítottuk, és abból mintát vettünk, amelyet az Állattenyésztési Teljesítményvizsgáló Kft. Takarmányanalitikai Laboratóriumában vizsgáltunk meg Gödöllőn.



(a)

(b)



(c)

5. ábra: A kísérletben részt vevő tritikálé fajták (Szarvas): (a) parcellái, (b) 1 m²-es mintavételi helyei, (c) lekaszált mintái.

A minták takarmányérték vizsgálatánál a következő paramétereket vizsgáltuk:

- Nedvesség, MSZ ISO 6496:1993 módszer szerint
- Nyersfehérje, NEN-ISO 5983-2 módszer szerint
- Nyersrost, NEN-EN-ISO 6865 módszer szerint
- aNDFom, ADF, ADL, NEN-EN-ISO 13906, Van Soest, 1963 módszer szerint
- NDFd₄₈, 48 órás inkubáció bendőfolyadékban módszer szerint
- NEI, ME, Német fehérje- és energiaértékelési rendszer szerint

A kísérletben a zöldhozamokon kívül megnéztük a tritikálé fajták szemtermés hozamát is. A betakarítás gabonakombájnnal, a tritikálé teljes érésének idején (BBCH 89) történt.

3.3. Statisztikai elemzések

Minden kezelést legalább négyszer megismételtünk *in vitro* kísérleteinkben. A portoktenyésztés adatait (ELS, regenerált zöld, albínó növénykék és átültetett növénykék) a kísérleti munka során regisztráltuk és gyűjtöttük össze. Az androgén válasz adatait kéttényezős ANOVA-val elemeztük. A növényregeneráció százalékos arányát ($\text{Regenerált növénykék/ELS} \cdot 100$) és a zöld növénykék regenerációját ($\text{zöld növénykék}/100 \text{ ELS} \cdot 100$) ismétlés nélküli kéttényezős ANOVA-val értékeltük ki. A statisztikai elemzéseket Microsoft Excel 2013 statisztikai szoftverrel (Microsoft, Redmond, WA, USA) végeztük el.

A zöldhozam betakarított mintáinak teljeskörű analitikai vizsgálatát elvégeztük, és azt a különböző időpontokban, és a különböző tritikálé fajták teljesítménye alapján értékeltük.

A kísérletben elért eredmények statisztikai kiértékelése SPSS for Windows 25.0 programmal történt. A kiértékelés során variancia analízist, korreláció- és regresszió vizsgálatot végeztünk.

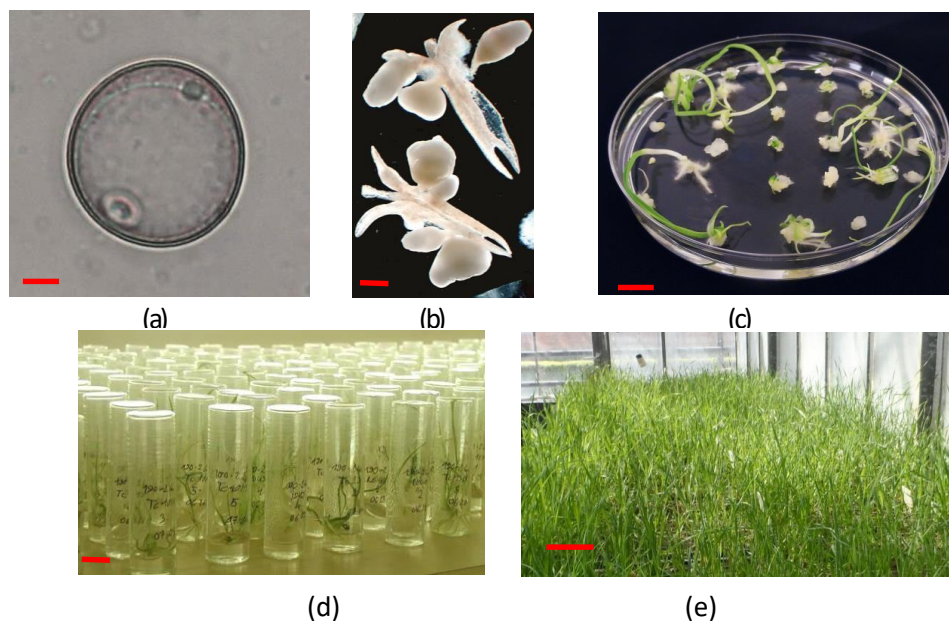
4. EREDMÉNYEK

4.1. DH növények előállítása és homogenitás vizsgálata

In vitro androgenezis indukcióját követően homozigóta diploid (DH) növényekhez juthatunk. Doktori munkám során az volt az első célom, hogy kísérleti anyagunkon kipróbáljuk a homozigóta törzsek előállításának ezt a módszerét. A 4.1.1. ponttól kezdve ennek eredményeit foglalom össze. Mivel a tritikálé csak részlegesen önterményenyülő, fontosnak tartottuk megvizsgálni, hogy az előállított DH törzsek tenyészkerti felszaporítása során történt-e idegen beporzás. A 4.2. pont alatt, ennek a vizsgálatnak az eredményét foglalom össze.

4.1.1 Androgenezis indukciója a tritikálé portoktenyészetben

Az *in vitro* androgenezist három tritikálé fajta és nyolc F₁ hibrid kísérletbe vonásával vizsgáltuk portoktenyészetben. A tenyészkertben nevelt donor kalászokat akkor gyűjtöttük össze, amikor a mikrospórák egysejtmagvas fejlettségi állapotban voltak (6. a ábra). A portoktenyészetekben a mikrospórákból származó ELS megjelenését szabad szemmel is jól láthattuk a tenyésztés negyedik hetétől (6. b ábra). A regeneráló táptaljara áthelyezett ELS-ből 2-3 héten belül zöld és albínó növénykéek fejlődtek (6. c ábra). A jól fejlett zöld növénykéket külön üvegcsővekbe oltottuk át gyökereztetésre (6. d ábra). A jól gyökerező növénykéek akklimatizálása (6. e ábra) után a zöld növénykéket tenyészkertben neveltük fel.



6. ábra: A tritikálé portoktenyésztés főbb szakaszai. (a) Az izolált porrtokban található, egysejtmagvas fejlettségű mikrospóra (bar = 10 μ m). (b) Mikrospórából származó ELS-ek a portokok felületén, a tenyésztés 4.-5. hetében (bar = 1 mm). (c) Növényregenerálás az ELS-ekből Petricsészében (bar = 10 mm). (d) Zöld növénykék gyökereztetése elkülönített tenyésztőcsövekben (bar = 10 203 mm). (e) Üvegházba kiültetett portotenyészet eredetű növények (sáv = 10 cm).

4.1.2 A tritikálé genotípus és tápközeg kölcsönhatás vizsgálata izolált portoktenyészetben

Az ELS-ek, zöld növénykék és albínó növénykék, majd a jól gyökeresedő kiültetett növénykék számát minden kísérletben megszámoltuk (tápközeg, genotípus) és feljegyeztük. Az összegyűjtött adatok alapján a genotípus, a tápközeg és ezek kölcsönhatását kéttényezős ANOVA-val elemeztük (5. táblázat). Az ELS, az albínó növénykék és az kiültetett növénykék számát szignifikánsan ($p \leq 0,05$) befolyásolta a tápközeg. A genotípus hatása minden vizsgált paraméter esetében szignifikáns volt. A tápközeg és a genotípus kölcsönhatása szignifikáns volt az kiültetett növénykék esetében ($p \leq 0,01$).

5. táblázat: A genotípus, tápközeg és kölcsönhatásuk statisztikai elemzése (kétféle ANOVA) tritikálé *in vitro* portoktenyésztésben (ifj. Kruppa et al. 2023)

Variancia forrása	df	MS - ELS	MS – zöld növényké	MS - albínók	MS – kiültetett növényké
Tápközeg	1	4145,636*	159,123 ns	72,727*	210,182*
Genotípus	8	35588,25***	2926,648***	42,226**	1019,25***
Kölcsönhatás	8	721,405 ns	94,303 ns	23,0884ns	103,581**
Hiba	54	910,694	99,463	12,527	39,242

***, szignifikáns ($p \leq 0,001$); **, szignifikáns ($p \leq 0,01$); *, szignifikáns ($p \leq 0,05$); ns, nem szignifikáns

4.1.3 Az androgenezis hatékonysága a tritikálé fajtákban és F₁ hibridekben

Az ELS-ek számát szignifikánsan befolyásolta mind a tápközeg, mind a genotípus, szignifikáns különbségek figyelhetők meg a különböző kezelések között (6. táblázat). Az ELS termelés a „Hungaro” genotípusban W14mf tápközeg használatával érte el a csúcst (216,8 ELS/100 portok), míg a legalacsonyabb ELS számot a „GK Szemes” genotípus esetében tapasztaltuk, ugyanezen tápközeg használatával (4,8 ELS/100 portok). A vizsgált genotípusok átlagosan 90,0 ELS-t és 103,7 ELS-t termeltek 100 portokonként W14mf és P4mf tápközegen. A két tápközeg összehasonlításában a tritikálé genotípusokban az ELS-ek száma 1,15-szöröse volt P4mf táptalaj alkalmazása esetén.

A zöld növénykéket portoktenyésztésből származó ELS-ből regeneráltuk minden genotípusban, minden kezelés során. Figyelemre méltó, hogy P4mf tápközeg esetében a „D×R” hibridnél érték el a legmagasabb produkciót (67,3 zöld növényke/100 portok), míg a „GK Szemes” fajtánál volt a legalacsonyabb azonos indukciós tápközeg esetében (0,3 ELS/100 portok). A zöld növény produkció hatékonysága mindkét indukciós tápközeg esetében magas volt, 17,0 és 19,7 zöld növényke/100 portok, a W14mf és P4mf tápközegben. Ez az eltérés 1,15-szörös növekedésnek felelt meg a P4mf indukciós közeg javára.

Albínó növénykék is regenerálódtak minden kezelés során. Szignifikáns különbségeket találtunk az egyes kezeléseknél a genotípusok és az indukciós tápközegek között. A legtöbb albínó növényke (12,00 albínó/100 portok) az „Sz×D” hibrid ELS-ből regenerálódott, amikor P4mf tápközeget használtunk. Ezzel szemben a „Dimenzio” fajta ELS-e, melyek a W14mf tápközegről származtak, csak 0,3 albínó/100 portokonként termeltek. A P4mf tápközegen indukált tritikálé genotípusokban átlagosan (5,45 albínó/100 portok) másfélszerese volt az albínó növénykék száma, mint amit a W14mf indukciós tápközegen indukáltunk (3,64 albínó/100 portok).

Az kiültetett növénykék adatai nagyon hasonlóak voltak a zöld növénykék regenerációjának adataihoz. P4mf indukciós tápközegen a „H×R” hibrid produkálta a legtöbb kiültetett növényt (48,8 kiültetett növényke/100 portok), míg a „GK Szemes” fajta a legkevesebbet (0,3 kiültetett növényke/100 portok) produkálta. A genotípus alapján mindkét indukciós tápközeg jelentős kiültetett növénykét termelt, átlagban 11,70 és 14,80 kiültetett növény/100 portok a W14mf és P4mf indukciós tápközegek esetében. A kiültetett növénykék átlaga 1,26-szor magasabb volt P4mf tápközeg esetében, mint a W14mf tápközegnél.

6. táblázat: A tritikálé fajták és F₁ hibridjeik *in vitro* androgenezisének hatékonysága portoktenyésztésben a két indukciós tápközeg (W14mf és P4mf) alkalmazásával
(ifj. Kruppa et al. 2023)

Genotípus	ELS		Zöld növénykék		Albinók		Kiültetett növénykék	
	/100 portok							
	W14mf	P4mf	W14mf	P4mf	W14mf	P4mf	W14mf	P4mf
‘Hungaro’	216,8 a A	215,5 a A	27,5 a C	20,5 a CD	5,5 a BC	4,3 a C	24,5 a A	18,5 a BC
‘H×SZ’	77,5 b C	98,3 a D	11,0 b E	21,8 a C	2,3 b C	6,0 a BC	10,0 b BC	21,8 a BC
‘H×D’	96,3 b BC	114,0 a CD	10,5 a E	9,3 a E	3,8 b BC	5,8 a BC	9,3 a BC	9,0 a CD
‘H×R’	210,8 a A	185,0 b B	43,5 b B	53,5 a B	3,0 a BC	2,5 a C	28,8 b A	48,8 a A
‘GK Szemes’	4,8 a D	14,5 a F	0,5 a F	0,3 a F	1,3 b C	3,8 a C	0,5 a C	0,3 a D
‘Sz×H’	97,0 a BC	104,5 a CD	11,3 a E	10,0 a E	10,5 a A	8,3 b B	10,3 a BC	8,8 a CD
‘Sz×D’	32,3 b D	77,3 a DE	4,3 a F	8,5 a E	1,7 b C	12,0 a A	4,0 a C	8,0 a CD
‘Dimenzio’	8,5 b D	22,0 a F	1,5 a F	1,5 a F	0,3 a C	1,8 a C	1,5 a C	1,0 a D
‘D×H’	114,7 a B	117,5 a CD	20,3 a D	16,8 a D	6,3 a B	5,8 a BC	15,0 a B	14,5 a C
‘D×Sz’	24,5 b D	60,0 a E	5,0 a F	7,3 a E	3,0 b BC	6,0 a BC	4,5 a C	6,8 a CD
‘D×R’	106,5 b BC	132,0 a C	51,5 b A	67,3 a A	2,5 b C	4,0 a C	20,5 a AB	25,5 a B
Átlag	90,0	103,7	17,0	19,7	3,6	5,5	11,7	14,8

Jelmagyarázat: azonos kisbetű (a, b) azonos genotípuson belül, különböző tápközegek között nem jelez szignifikáns különbséget ($p \leq 0,05$). Azonos nagybetű (A, B) ugyanazon tápközegen belül a genotípusok között nem jelez szignifikáns különbséget ($p \leq 0,05$).

4.1.4 A portoktenyésztésből származó ELS-ek regenerációs hatékonysága

Az ELS-ek zöld növénykékké regenerálása kritikus lépés volt a portoktenyésztésben. Az ELS-ből származó növény és zöld növény regeneráció hatékonyságát vizsgáltuk, hogy tisztázzuk a genotípus és az indukciós tápközeg hatását a növény regenerálás fázisában. A statisztikai elemzések rávilágítottak a genotípus szignifikáns hatására (7. táblázat).

7. táblázat: Statisztikai elemzések (kéttényezős ANOVA) a genotípus és az indukciós közeg hatásának a növényregenerációra és a zöld növények regenerációjának hatékonyságára (ifj. Kruppa et al. 2023)

Tényező	df	MS – növény regeneráció hatékonyság	MS – zöld növény regeneráció hatékonyság
Genotípus	8	234,7103***	285,0326***
Tápközeg	1	3,291823 ns	23,94102ns
Hiba	8	26,57764	19,67393

*** szignifikáns $p \leq 0,001$ -nél, ns nem szignifikáns

A növényregenerációs hatékonyság értékei genotípustól és tápközegtől függően 11,5 növény/100 ELS és 54,0 növény/100 ELS között változtak (8. táblázat). A genotípusok átlaga 24,9% és 24,2% volt a W14mf és P4mf indukciós tápközegeknél.

Ez a különbség még kifejezőbb volt a zöld növényké regenerációs hatékonyságában. Az értékek a kezeléstől (genotípus és tápközeg) függően 1,8% és 51,0% között változtak. A genotípusok többségénél a zöld növényi regeneráció százalékos aránya szignifikánsan magasabb volt a W14mf tápközeg használatakor, mint a P4mf tápközeg (8. táblázat). A genotípusok átlaga 18,0% és 15,9% volt a W14mf és P4mf tápközeg esetében.

Feljegyeztük a spontán kromoszóma-kettőződés százalékos arányát, amit a kiültetett növények fertilitása alapján számítottunk ki (9. táblázat). A legtöbb fertilis DH növény (44 növény) a „Hungaro”-ból, míg a legkevesebb a „GK Szemes”-ből (1 növény) született. Ez a kísérlet összesen 308 DH növényt eredményezett. A spontán kromoszóma-kettőződés átlagosan 29,3% volt, genotípustól függően 19,4% és 67,4% között változott.

8. táblázat: Különböző indukciós tápközegekben (W14mf és P4mf) előállított ELS-ek növény- és zöld növény regenerációs hatékonysága (%), (ifj. Kruppa et al. 2023)

Genotípus	Növény regenerációs hatékonyság (%) ¹		Zöld növény regenerációs hatékonyság (%) ²	
	W14mf	P4mf	W14mf	P4mf
“Hungaro”	15,22 a D	11,48 b D	12,69 a C	9,51 b DE
“H×SZ”	17,10 b D	28,24 a B	14,19 b C	22,14 a C
“H×D”	14,81 a D	13,16 a D	10,91 a C	8,11 b E
“GK Szemes”	36,84 a B	28,57 b B	10,53 a C	1,79 b F
“Sz×H”	22,42 a CD	17,46 b CD	11,60 a C	9,57 a DE
“Sz×D”	18,56 b CD	26,54 a BC	13,39 a C	11,00 b DE
“Dimenzio”	20,59 a CD	14,77 b D	17,65 a BC	6,82 b E
“D×H”	23,26 a C	19,15 b CD	17,73 a BC	14,26 b D
“D×Sz”	32,65 a B	22,08 b C	20,41 a B	12,08 b DE
“H×R”	22,06 b CD	30,27 a B	20,64 b B	28,92 a B
“D×R”	50,7 b A	53,98 a A	48,36 b A	50,95 a A
Átlag	24,93 ± 10,956	24,15 ± 11,885	18,01 ± 10,704	15,92 ± 13,789

Jelmagyarázat: azonos kisbetű (a, b) ugyanazon genotípuson belül, különböző tápközegek között nem jelez szignifikáns különbséget ($p \leq 0,05$). Azonos nagybetű (A, B stb.) ugyanazon tápközegen belül a genotípusok között nem jelez szignifikáns különbséget ($p \leq 0,05$).

¹Növény regenerációs hatékonyság=Regenerált növények/ELS * 100

² Zöld növény regenerációs hatékonyság=Regenerált zöld növények /ELS *100

9. táblázat: Portoktenyésztésből származó tritikálé növények spontán kromoszóma-kettőződése a kiültetett fertilis növények száma alapján (ifj. Kruppa et al. 2023)

Genotípus	Kiültetett növények száma	Haploidok	Spontán DH	Spontán kromoszóma-kettőződés százalékos aránya*
“Hungaro”	175	131	44	25,14%
“H×SZ”	26	14	12	46,15%
“H×D”	43	14	29	67,44%
“GK Szemes”	3	2	1	33,3%
“Sz×H”	82	64	18	21,95%
“Sz×D”	36	29	7	19,44%
“Dimenzio”	7	5	2	28,57%
“D×H”	87	62	25	28,74%
“D×Sz”	55	42	13	23,64%
“H×R”	351	256	95	27,07%
“D×R”	187	125	62	33,16%
Összesen	1052	744	308	29,28%

* A spontán kromoszóma-kettőződés százalékos aránya = Spontán DH / kiültetett növények száma * 100

4.2. A homogenitás vizsgálata molekuláris markerekkel

A tritikálé fajtafenntartás és vetőmagelőállítás során a vetőmag tisztasága, homogenitása alapvetően fontos. A tritikálé a búzához, árpához, rizshez, mint alapvetően fontos gabonafajokhoz viszonyítva, a tritikálé növény a rozs őstől bizonyos mértékű idegenbeporzást örökölt. A nemesítés a hatékony fajtafenntartás érdekében mindig az önbeporzó törzsekre szelektál, de ennek ellenére bizonyos mértékű idegen termékenyülés még mindig jellemző a tritikáléra. A DH törzsek esetében ez a jelleg különösen fontos, ezért az előállított DH törzsek között molekuláris homogenitás vizsgálatot végeztünk.

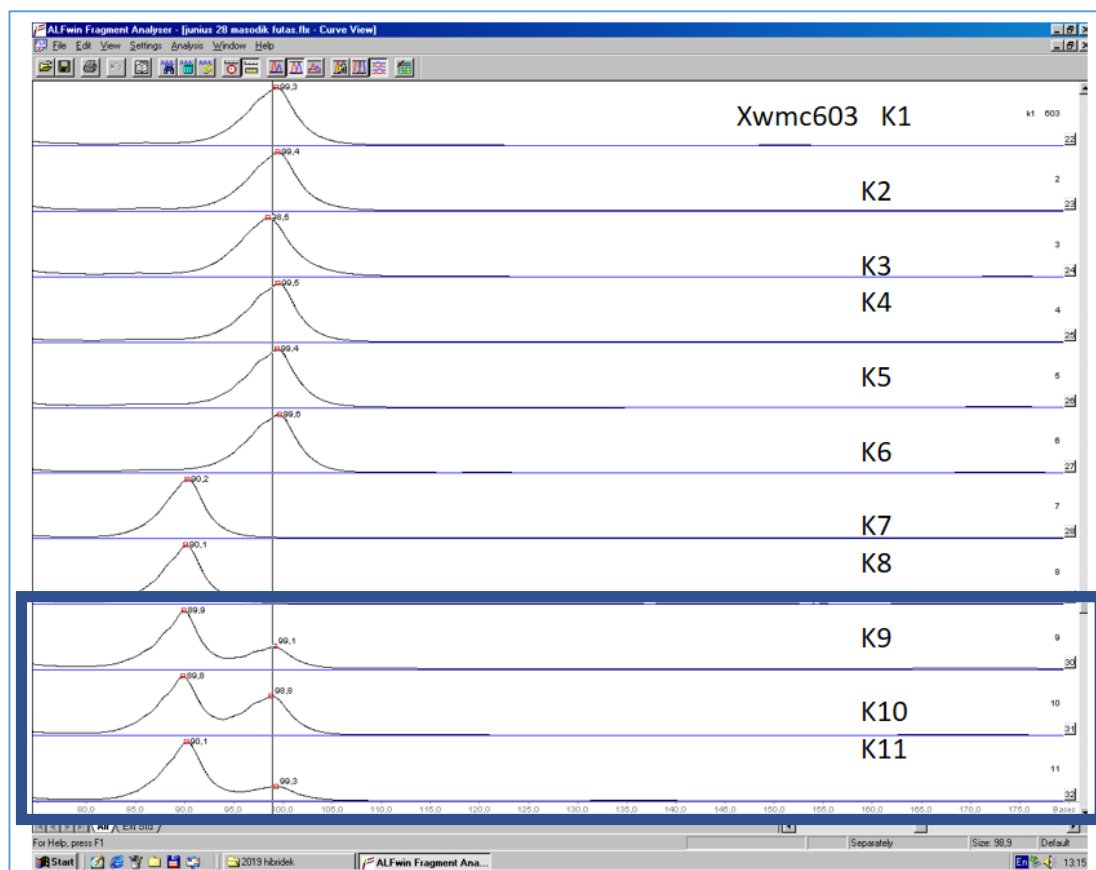
A 7 mikroszatellit lókuszból négy monomorf, homozigóta mintázatot eredményezett: ezek a következők: Xwmc9, SCM92, BARC108, SCM150, míg a másik 3 lókuszból (Xwmc603, SCM176, SCM126) 1-1 lókuszban volt megfigyelhető heterozigótaság (10. táblázat).

10. táblázat: Allél (bp) méretek a vizsgált DH törzsekben

DNS minta	SRR loci									
	Xwmc 9	SCM9 2	SCM176		Xwmc603		SCM126		BARC10 8	SCM15 0
	Allél 1 (bp)	Allél 1 (bp)	Allél 1 (bp)	Allél 2 (bp)	Allél 1 (bp)	Allél 2 (bp)	Allél 1 (bp)	Allél 2 (bp)	Allél 1 (bp)	Allél (bp) 1
„Hungaro”; 1-15	165	288	153		100		100		140	148
„Hungaro”; 16	165	288	147	153	100		100		140	148
„Hungaro”; 17-57	165	288	153		100		100		140	148
„Hungaro”; 28,29,30,31,32,33,34,35	165	288	153		100		100		140	148
„Rege”; 65,66,67,69,72,73,74,75,76,77	165	288	153		90		126		140	148
„RxH”; 60,61,62,63	165	288	153		90		100		140	148
„R x H”; 59	165	288	153		90		126			
„H x R”; 79, 107	165	288	153		90		126		140	148
„H x R”; 80,83,87,88, 89, 90, 96,97,98,	165	288	153		90		100		140	148
„H x R”; 85	165	288	153		90	100	100	126		
„H x R”; 87,88,89,90, 92, 94	165	288	153		90		100		140	148
„H x R”; 92, 94,100, 104, 111, 112	165	288	153		100		100		140	148
„H x R”; 86, 95, 106,	165	288	153		100		126		140	148
„H x R”; 108, 110					100		100	126		

Sikeres haploid előállítás esetén a „HxR” és az „RxH” vonalaknak vagy a „Rege” vagy a „Hungaro” szülői allélekre jellemző, vagy „R” „H” allélt kell tartalmazniuk. Kékkel színeztük azokat a cellákat a 9. táblázatban, amelyeknél a várt értékektől eltérést vettünk észre.

Az Xwmc603 lókuszt esetében váratlan heterozigotizáció a 7. ábrán látható példa.



7. ábra: A DNS-fragmentum elemzésének részeredménye, allélméret meghatározás. Két csúcs a K9, K10 és K11 mintákban heterozigotáságot jelzik. (ifj. Kruppa et al. 2023).

Az SCM176 SSR primerpár két sávot (147 és 153 bp allél) generált, amelyek heterozigotásra utalnak az egyik „Hungaro” mintában. Ez azzal magyarázható, hogy a szaporítás során idegen-termékenyülés történt.

A 11. táblázat azt mutatja, hogy heterozigotás néhány esetben előfordul, pl. a „HxR” és „DxR” kombinációkban (Xwmc603, SCM126 lókuszok). A homozigóta genotípusok nem azonosak a „HxR” Xwmc603 lókuszban és az „RxH”, „HxR”, „DxR”, „RxD” DH törzsek SCM126 lókuszában. Váratlan allélt (a?) 5 „DxR” eredetű törzsben azonosítottunk, míg más esetekben az allélok a szülői allélokat („H”, „R” vagy „D”) képviselték. Az SCM126 lókuszban a várt 116 vagy 126 bp allél helyett 100 bp-os PCR terméket is kaptunk. Mivel ezek a 100 bp allélt tartalmazó genotípusok homozigóták voltak, megállapíthatjuk, hogy a hiba (idegen beporzás) a haploidizációt megelőző keresztezés során történt.

11. táblázat: Homozigóta/heterozigóta genotípusok száma a vizsgált DH₂ törzsekben (íj. Kruppa et al. 2023)

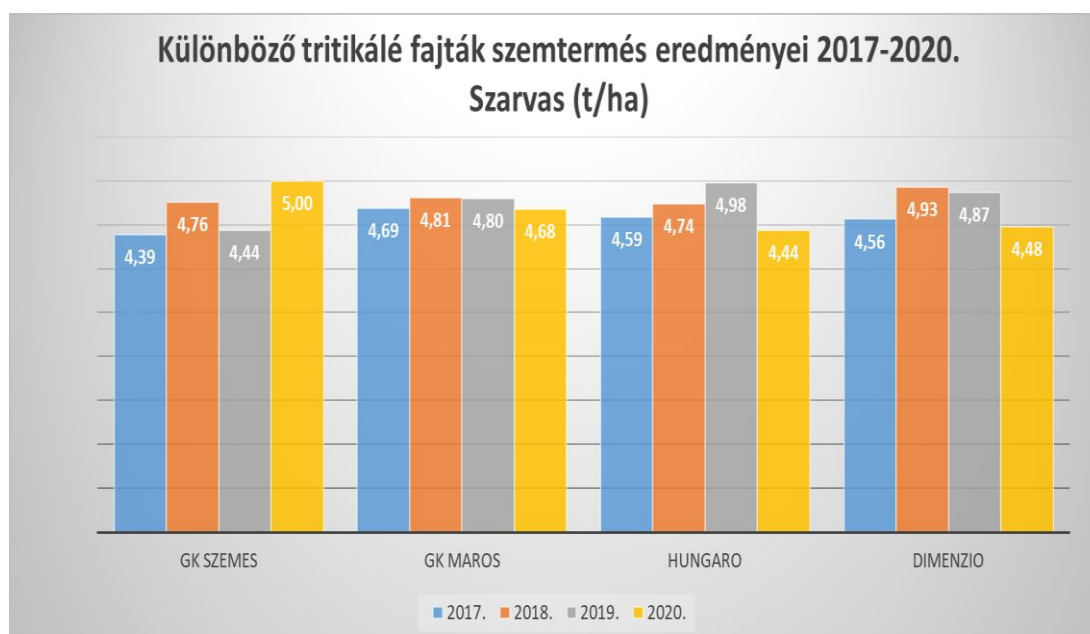
Fajta/ DH ₂ törzsek	Tesztelt DH ₂ törzsek száma	Xwmc9		SCM92		SCM176		Xwmc603		SCM126		BARC108		SCM150	
		Homo- zigóta	Hetero- zigóta	Homo- zigóta	Hetero- zigóta	Homo- zigóta	Hetero- zigóta	Homo- zigóta	Hetero- zigóta	Homo- zigóta	Hetero- zigóta	Homo- zigóta	Hetero- zigóta	Homo- zigóta	Hetero- zigóta
'Hungaro'	46	46	-	46	-	45	1	46	-	46	-	46	-	46	-
'GK Rege'	10	10	-	10	-	10	-	10	-	10	-	10	-	10	-
'R×H'	5	5	-	5	-	5	-	5	-	5	-	5	-	5	-
										4 H 1 R					
'H×R'	32	32	-	32	-	32	-	31 14 R 17 H	1	29 9 R 20 H	3	32	-	32	-
'D×R'	19	19	-	19	-	19	-	17	2	19	-	19	-	19	-
										8 R 6 D 5 a?					
'D×H'	6	6	-	6	-	6	-	6	-	6	-	6	-	6	-
'R x D'	3	3	-	3	-	3	-	3	-	3	-	3	-	3	-
										2 R 1 D					

4.3. A tritikálé zöldtakarmány célú felhasználása

A hagyományos értelemben vett szemtermés hasznosításán kívül az utóbbi években rendkívüli módon felértékelődött a gabonafélék zöldtömegének hasznosítása. A kísérletünk négy évében Magyarországon elsőként megvizsgáltuk, hogy a tritikálé (*X Triticosecale* Wittm.) alkalmas-e tömegtakarmánnyként történő hasznosításra, milyen zöldhozamokra képes és azt milyen minőség jellemzi.

4.3.1 Négy tritikálé fajta szemtermés eredménye

A kísérlet négy éve alatt elsőként a tritikálé szemtermésének vizsgálatát végeztük el. A négy évjárat jelentős eltéréseket mutatott a csapadékeloszlás tekintetében, amely jól elemezhetővé tette a különböző évjáratokban elérhető szemtermés eredményeket (8. ábra).



8. ábra: A különböző tritikálé fajták szemtermés eredményei 2017-2020. Szarvas.

A 2017-ben a fajták termésátlagai a legkisebbek voltak a vizsgált négy év hozamai közül. A termésátlagok 4,39 – 4,69 t/ha között változtak. Ennek oka elsősorban a kedvezőbb őszi-téli vízellátás ellenére a száraz tavaszi időjárás, melynek következtében alacsonyabb hozamokat kaptunk 2017-ben. Mint az ábrán látható, az első vizsgálati évben a négy fajta közül a legjobb termésátlagot a „GK Maros” fajta érte el. A fajták termésátlagai között a statisztikai vizsgálat alapján nem igazolható szignifikáns különbség, így a terméssorrend csak tendencia rangsort jelent.

2018-ban minden fajta terméseredménye meghaladta a 2017. évben elért eredményeket. Ebben az évben a termésátlagok 4,74 – 4,93 t/ha között váltakozott a vizsgált négy fajtánál. A legmagasabb termésátlagot a „Dimenzio” fajta érte el, 4,93 t/ha-ral. A statisztikai vizsgálat alapján ebben az évben sem volt igazolható különbség a hozamok között, tehát a fajták termőképességében a kísérlet második évében sem tudtunk statisztikailag igazolható különbséget mérni.

2019-ben a négy fajta terméseredményei jobban szóródtak, voltak fajták, amelyek ugyanakkora, vagy magasabb hozamot értek el, mint az előző években, míg volt két fajta, amely kisebb termésátlagot mutatott. A nagyobb szórás ellenére sem volt a különbség statisztikailag igazolható, melyet az is igazolt, – eddigiektől eltérően - hogy ebben az évben, a „Hungaro” fajta érte el a legmagasabb hozamot (4,98 t/ha).

Az utolsó vizsgált évünkben, 2020-ban alakult ki a legmagasabb termésátlag a „GK Szemes” esetében, amely elsősorban a kedvezőbb őszi-téli időjárásnak volt köszönhető. A 2020. évjárat tavaszi időszakában azonban az április, május rendkívül száraz volt, ezért a többi fajta - a „GK Szemessel” ellentétben - a vizsgált évek közül a legalacsonyabb termésátlagot érte el. Ez arra utal, hogy a vizsgált négy fajta közül a szárbaindulás-virágzás körüli aszályos időszakot a „GK Szemes” jobban viseli, jó szárazságtűrővel rendelkezik. A termésátlagok statisztikai vizsgálatánál csak egy évben, egy fajtánál találunk igazolható különbséget, a „GK Szemes” (5,00 t/ha) termésátlaga volt szignifikánsan nagyobb.

A négy éves kísérlet alatt elmondható, hogy a fajták szemtermés eredményei nagyon kiegyenlített volt. A fajták termésátlagai között a statisztikai vizsgálat alapján nem igazolható szignifikáns különbség.

4.3.2 A tritikálé fajták zöldhozamának vizsgálata

A terméseredményeket követően megvizsgáltuk négy tritikálé fajta zöldhozamainak alakulását. Magyarországon ilyen jellegű kísérletet még nem végeztek, és nincsenek hazai adatok arról, hogy egyáltalán lehet-e ilyen célú felhasználása a tritikálénak. A betakarítási időpontokat úgy választottuk meg, hogy nyomon lehessen követni mind a hozamok, mind pedig a növény minőségének, táplálóanyag-tartalmának alakulását.

A fajták teljesítményét nem azonos dinamika jellemzte (12. táblázat). Megfigyelhető volt, hogy a betakarítási idő előrehaladtával minden fajta zöldtömege növekszik, viszont a növekedés üteme, dinamikája jelentősen eltérő volt az egyes fajtáknál. A fajták már az első kaszálási időpontban (BBCH 45) 15,373-23,457 t/ha körüli zöldhozamra voltak képesek átlagosan, 30%-os szárazanyag tartalom mellett. Az első kaszálások alkalmával 2017-ben és 2018-ban a „GK Maros” adta a legnagyobb zöldtömeget, míg 2019-ben a „Dimenzio”, 2020-ban pedig a „GK Szemes” volt a legnagyobb hozamú fajta. Ez azt mutatja, hogy a zöldhozam erősen függ az évjáratok hatásától, a fajták között a vizsgált években statisztikailag is igazolható különbségeket a zöldhozamban nem tudtunk igazolni. A magas zöldhozamok azért is kedvezőek, mert a nagy hozam kialakulásához a tritikálé fajták igen kevés (jellemzően téli félévi) vizet használtak fel, illetve igen korán lekerültek a területről, lehetővé téve a terület azévi főnövényvel történő hasznosítását. 2017-ben a korai kaszálási időpontban kiemelkedő teljesítményt mutatott a „GK Maros” fajta, amely jelentős, mintegy 3,87 t/ha zöldhozammal haladta meg a legkisebb hozamú fajta teljesítményét.

A második kaszálási időpontra (BBCH 49) jelentős változások következtek be a fajták zöldhozamában. 2017-ben a második kaszálási időpontban a legdinamikusabb növekedést a „Dimenzio” fajta mutatta (31,155 t/ha) teljesítménnyel, de a „GK Maros” jó teljesítménye továbbra is megmaradt (30,083 t/ha). A „Dimenzio” a következő időpontra, jelentősen, mintegy 8,73 t/ha-ral növelte a zöldhozamát, míg a többi fajta hozama csak kisebb mértékben 3,67-3,92 t/ha-ral növekedtek. 2018-ban a második kaszálási időpontban szintén a „GK Maros” adta a legnagyobb hozamot, de a fajták között nincs lényeges különbség, az alig haladja meg az 1,5 t/ha-os nagyságrendet. Ez a különbség sem érte el a szignifikáns különbség határát. 2019-ben a „Hungaro” tritikálé fajta adta a legnagyobb zöldhozamot a 2. kaszálás idején (23,225 t/ha). Megfigyelhető, hogy ebben az évben a hozamok növekedése sokkal szerényebb

mértékű volt a második kaszálás idejére, ami az évjárat hatásának volt köszönhető. 2020-ban a második kaszálás idejére a legdinamikusabb több mint 10 t/ha-os hozamnövekedéssel a korai „GK Szemes” tritikálé fajta érte el a legnagyobb zöldhozamot (31,105 t/ha).

2017-ben a harmadik kaszálási időpontra (BBCH 58) a fajták zöldhozamai tovább növekedtek, de a növekedés intenzitása jelentősen csökkent. A harmadik betakarítási időpontra két fajta növekedési üteme maradt intenzívebb, ezek a „GK Szemes” (4,26 t/ha) és a „Hungaro” (3,45 t/ha), mely azt mutatja, hogy ezek a fajták csak később, május második felére érték el a zöldhozamuk szentelítődés előtti maximumát. Az előző kaszálás idején nagy fejlődést mutató fajták („GK Maros” és „Dimenzio”) csak mérsékelt (1,22 t/ha és 0,69 t/ha) zöldhozam növekedést mutattak (12. táblázat).

2018-ban a négy évjárat közül a legalacsonyabb hozamokat mértük. Ez a harmadik kaszálás (BBCH 58) idejére is megmaradt, hozamnövekedést nem tudtunk mérni. A fajták a kedvezőtlen évjárat hatására ebben az időszakban nem tudták zöldhozamukat tovább növelni.

2019-ben az előző évvel ellentétben igen jelentős volt a hozamok növekedése a harmadik kaszálás (BBCH 58) idejére. A legdinamikusabb növekedést a „Dimenzio” fajta mutatta, 11,964 t/ha hozamnövekedést ért el a hét napos periódusban. Így a zöldhozama igen magas 34,454 t/ha. A „Dimenzio” tritikálé fajta a 3. vágás idejére a vizsgált 4 évből háromban ekkor adta a legmagasabb zöldhozamot a vizsgált négy fajta közül.

2020-ban a harmadik kaszálás (BBCH 58) idejére szintén csak kis mértékben nőttek a zöldhozamok, a jelentős tavaszi csapadékhiányos időszaknak köszönhetően. A vágás idején a legnagyobb zöldhozamot a „GK Maros” adta (12. táblázat).

A negyedik kaszálás idején (BBCH 65) 2017-ben mértünk jelentős zöldhozam növekedést. A fajták átlagában a hozam növekedése elérte a 9,292 t/ha-t. A legdinamikusabb hozamnövekedést a „GK Szemes” fajta érte el, de a fajták hozamai nagyon kiegyenlítettek voltak, 38,736 – 41,533 t/ha között alakultak. 2018-ban az egész évre jellemző szerényebb zöldhozamok alakultak ki a kísérlet utolsó betakarításának idejére. A hozamnövekedés a fajták átlagában is sokkal szerényebben

alakult, mindösszesen 4,278 t/ha-ral nőtt a zöldhozam. 2019-ben a fajták mindegyike jelentősen meghaladta a 35 t/ha-os zöldhozamot, azonban a „GK Szemes” fajta csak 25 t/ha körüli hozamokat mutatott. Ez azért jelentős, mert ez a fajta érte el a legmagasabb hozamot a negyedik vágás idejére 2017-ben és 2018-ban. A 2019-es évjáratban bekövetkező májusi-júniusi extrém csapadékbőség valószínűleg a fajtát rendkívül hátrányosan érintette. Ez felhívta a figyelmet arra, hogy a fajta érzékeny lehet a vízbőség okozta talaj-levegő hiányára. 2020-ban a hozamok 23,129 – 26,439 t/ha körül alakultak, a „Hungaro” fajta kivételével, amely 30,179 t/ha zöldhozamot ért el. A „Hungaro” fajta ebben a kaszálási időpontban mind 2019-ben, mind pedig 2020-ban kiemelkedő hozamot mutatott.

12. táblázat: A tritikálé fajták 30%-os szárazanyag-tartalomra korrigált zöldhozam értékei (t/ha) a különböző években és kaszálási időpontokban (ifj. Kruppa et al. 2025)

	Fajta	2017	2018	2019	2020
1. kaszálási időpont (BBCH45)	„GK Szemes”	22,479 ^{aA}	14,777 ^{bA}	18,122 ^{cA}	20,761 ^{dA}
	„GK Maros”	26,304 ^{aA}	16,648 ^{bA}	19,998 ^{cA}	15,204 ^{dA}
	„Hungaro”	22,616 ^{aA}	14,452 ^{bA}	19,219 ^{cA}	18,120 ^{dA}
	„Dimenzio”	22,428 ^{aA}	15,616 ^{bA}	20,801 ^{cA}	13,831 ^{dA}
	Átlag	23,457	15,373	19,535	16,979
2. kaszálási időpont (BBCH49)	„GK Szemes”	26,148 ^{aB}	22,669 ^{bB}	18,952 ^{cB}	31,105 ^{dB}
	„GK Maros”	30,083 ^{aB}	23,954 ^{bB}	20,574 ^{cB}	26,622 ^{dB}
	„Hungaro”	26,538 ^{aB}	22,315 ^{bB}	23,225 ^{cB}	23,444 ^{dB}
	„Dimenzio”	31,155 ^{aB}	22,573 ^{bB}	22,490 ^{cB}	23,569 ^{dB}
	Átlag	28,481	22,878	21,310	26,185
3. kaszálási időpont (BBCH58)	„GK Szemes”	30,409 ^{aC}	21,196 ^{bC}	22,488 ^{cC}	22,476 ^{dC}
	„GK Maros”	31,302 ^{aC}	20,704 ^{bC}	32,959 ^{cC}	28,102 ^{dC}
	„Hungaro”	29,995 ^{aC}	20,661 ^{bC}	33,765 ^{cC}	23,943 ^{dC}
	„Dimenzio”	31,847 ^{aC}	21,229 ^{bC}	34,454 ^{cC}	24,934 ^{dC}
	Átlag	30,888	20,947	30,917	24,864
4. kaszálási időpont (BBCH65)	„GK Szemes”	41,533 ^{aD}	26,449 ^{bD}	25,649 ^{cD}	23,129 ^{dD}
	„GK Maros”	39,889 ^{aD}	25,918 ^{bD}	35,815 ^{cD}	26,439 ^{dD}
	„Hungaro”	38,736 ^{aD}	24,474 ^{bD}	39,001 ^{cD}	30,179 ^{dD}
	„Dimenzio”	40,561 ^{aD}	24,059 ^{bD}	37,506 ^{cD}	25,551 ^{dD}
	Átlag	40,180	25,225	34,492	26,325

Jelmagyarázat: a,b,c,d szignifikáns csoportok a különböző évek között
A, B, C, D szignifikáns csoportok a különböző kaszálási időpontok között

A zöldhozam eredmények közötti különbségeket is megvizsgáltuk statisztikai módszerekkel, ahol szerettük volna megtudni, hogy a fajták között, az évek között és a különböző időpontokban mért zöldhozam eredmények között van-e szignifikáns

különbség (13. táblázat). A varianciaanalízis alátámasztotta, hogy a fajták között az évek átlagában nincs szignifikáns különbség, míg az évek között és a kaszálási időpontokban mért hozambeli különbségek szignifikánsan eltérnek egymástól. A fajták között ez egyes években lehetnek szignifikáns különbségek, de ezek az adott évjárat szélsőségeinek köszönhetők, az évek átlagában a fajták teljesítménye hasonló.

13. táblázat: A tritikálé fajták 30%-os szárazanyag-tartalomra korrigált zöldhozamának (kg/ha) szignifikáns határértékei az évek és a kaszálások átlagában (ifj. Kruppa et al. 2025)

Évek átlaga				
Évek	Átlag	Hiba	95% Konfidencia intervallum	
			Alsó határ	Felső határ
2017.	32315	1021,024	30244,643	34386,107
2018.	22484	1021,024	20413,268	24554,732
2019.	29724	1021,024	27653,018	31794,482
2020.	24618	1021,024	22926,755	26308,245

a) Az évek átlagában

Kaszálási időpontok átlaga				
Kaszálás	Átlag	Hiba	95% Konfidencia intervallum	
			Alsó határ	Felső határ
1. kaszálási időpont (BBCH45)	18836,065	906,965	16996,655	20675,475
2. kaszálási időpont (BBCH49)	24713,584	906,965	22874,174	26552,994
3. kaszálási időpont (BBCH58)	26903,937	906,965	25064,527	28743,347
4. kaszálási időpnt (BBCH65)	31555,483	906,965	29716,073	33394,893

b) A kaszálások átlagában

4.3.3 A tritikálé zöldtömeg táplálóanyag-tartalmi értékének vizsgálata

A zöldtakarmány hasznosítás során nemcsak a nettó biomassa tömeg, hanem a táplálóanyag-tartalmi mutatói is kiemelkedőek voltak. A zöldtakarmányokat fogyasztó állatfajok (pl. szarvasmarha stb.) fehérje igényének nagy részét adhatják a

zöldtakarmányok, elsősorban a nagy mennyiségű fogyasztásának köszönhetően. A zöldtakarmány felvétel ezen állatfajoknál a legnagyobb, ezért nem mellékes, hogy azok mekkora nyersfehérje tartalommal rendelkeznek, illetve, hogy a nyersfehérje tartalmukat mennyire képesek a növények „öregedésükkel” megtartani, melyek azok a fajták, amelyek lassabban öregszenek, és tovább meg tudják tartani a nyersfehérje tartalmukat elfogadható szinten.

A nagy mennyiségű tömegtakarmányt fogyasztó állatok számára a másik fontos takarmány komponens a nyersrost, NDF és azok minősége. A kérődző állatok többüregű gyomra képes a nagy mennyiségű rostemésztésre, de a nagy teljesítményű állatfajok pl. tejelő tehenek számára egyáltalán nem mindegy, hogy a fogyasztott takarmány mekkora emészthető rosttartalommal (dNDF, NDFd₄₈) rendelkezik, és annak hogyan alakul a laktációs nettó energia- (NEI) és aminosavtartalma. Kísérletünkben megvizsgáltuk, hogy a különböző tritikálé fajták zöldhozamának hogyan alakul a táplálóanyag-tartalma, fehérje és rostminősége eltérő években, amikor különböző fenofázisokban történt a betakarítás.

Nincsenek hazai adatok arra vonatkozóan, nemzetközi szinten is csak csekély, hogy milyen táplálóanyag-tartalmi értékkel bír a tritikálé zöldtakarmány. Ezért a következő fejezetekben ezek vizsgálatára különös gondot fordítottunk.

4.3.3.1 Nyersfehérje

Ez a táplálóanyag-tartalmi érték kiemelkedően fontos az állati takarmányozás szempontjából, és még relatív kis különbségek is jelentős hatást gyakorolnak a takarmányozás során, a nagy mennyiségű takarmányfelvételnek köszönhetően. 2017-ben a legnagyobb nyersfehérje tartalmat a kísérletben, a „Dimenzio” fajta adta. Nyersfehérje tartalma minden kaszálási időpontban meghaladta a többi tritikálé fajtáét (14. táblázat, 9. ábra). Négy kaszálási időpontból két esetben a „GK Szemes” fajta érte el a legkisebb nyersfehérje tartalmat. A vizsgált években megállapítható volt, hogy a kaszálási időpontok előrehaladtával, a növények öregedésével folyamatosan, és szignifikáns mértékben csökkent a tritikálé fajták nyersfehérje tartalma (15./a) táblázat). A másik nagyon fontos megállapítás, hogy a nyersfehérje tartalom a betakarított zöldhozamban jelentősen függ a tritikálé fajták genetikai háttérétől. A

négy vizsgált tritikálé fajta közül a „GK Szemes” nyersfehérje tartalma átlagában szignifikánsan alacsonyabb volt (111,338 g/kg sz.a) a többi fajtától (123,325 – 128,288 g/kg sz.a) (15./b táblázat). Ezért a „GK Szemes” csak olyan zöld tömegtakarmány alapjaként javasolható, ahol a fehérjetartalom nem elsődleges meghatározó minőségi feltétel.

14. táblázat: A tritikálé fajták nyersfehérje tartalma (g/kg sz.a.) a különböző években és kaszálási időpontokban (ifj. Kruppa et al. 2025)

	fajta	1. kaszálás (BBCH45)	2. kaszálás (BBCH49)	3. kaszálás (BBCH58)	4. kaszálás (BBCH65)	Átlag
2017.	„GK Szemes”	182 ^{a, A}	138 ^{a, B}	113 ^{a, C}	85 ^{a, D}	129,5 ^a
	„GK Maros”	178 ^{b, A}	140 ^{b, B}	117 ^{b, C}	83 ^{b, D}	129,5 ^b
	„Hungaro”	168 ^{b, A}	141 ^{b, B}	125 ^{b, C}	86 ^{b, D}	130,0 ^b
	„Dimenzio”	188 ^{b, A}	144 ^{b, B}	130 ^{b, C}	90 ^{b, D}	138,0 ^b
	Átlag	179,0^A	140,8^B	121,3^C	86,0^D	
2018.	„GK Szemes”	124 ^{a, A}	128 ^{a, B}	101 ^{a, C}	108 ^{a, D}	115,3 ^a
	„GK Maros”	176 ^{b, A}	139 ^{b, B}	139 ^{b, C}	108 ^{b, D}	140,5 ^b
	„Hungaro”	209 ^{b, A}	144 ^{b, B}	144 ^{b, C}	116 ^{b, D}	153,3 ^b
	„Dimenzio”	177 ^{b, A}	145 ^{b, B}	145 ^{b, C}	110 ^{b, D}	144,3 ^b
	Átlag	171,5^A	139,0^B	132,3^C	110,5^D	
2019.	„GK Szemes”	148 ^{a, A}	126 ^{a, B}	113 ^{a, C}	96 ^{a, D}	120,8 ^a
	„GK Maros”	168 ^{b, A}	152 ^{b, B}	129 ^{b, C}	116 ^{b, D}	141,3 ^b
	„Hungaro”	169 ^{b, A}	143 ^{b, B}	141 ^{b, C}	112 ^{b, D}	141,3 ^b
	„Dimenzio”	179 ^{b, A}	174 ^{b, B}	134 ^{b, C}	95 ^{b, D}	145,5 ^b
	Átlag	166,0^A	148,8^B	129,3^C	104,8^D	
2020.	„GK Szemes”	122 ^{a, A}	117 ^{a, B}	112 ^{a, C}	94 ^{a, D}	111,3 ^a
	„GK Maros”	154 ^{b, A}	128 ^{b, B}	129 ^{b, C}	110 ^{b, D}	130,3 ^b
	„Hungaro”	162 ^{b, A}	112 ^{b, B}	139 ^{b, C}	105 ^{b, D}	129,5 ^b
	„Dimenzio”	148 ^{b, A}	131 ^{b, B}	146 ^{b, C}	115 ^{b, D}	135,0 ^b
	Átlag	146,5^A	122,0^B	131,5^C	106,0^D	

Jelmagyarázat: a, b szignifikáns csoportok a fajták között
A, B, C, D szignifikáns csoportok a különböző kaszálási időpontok között

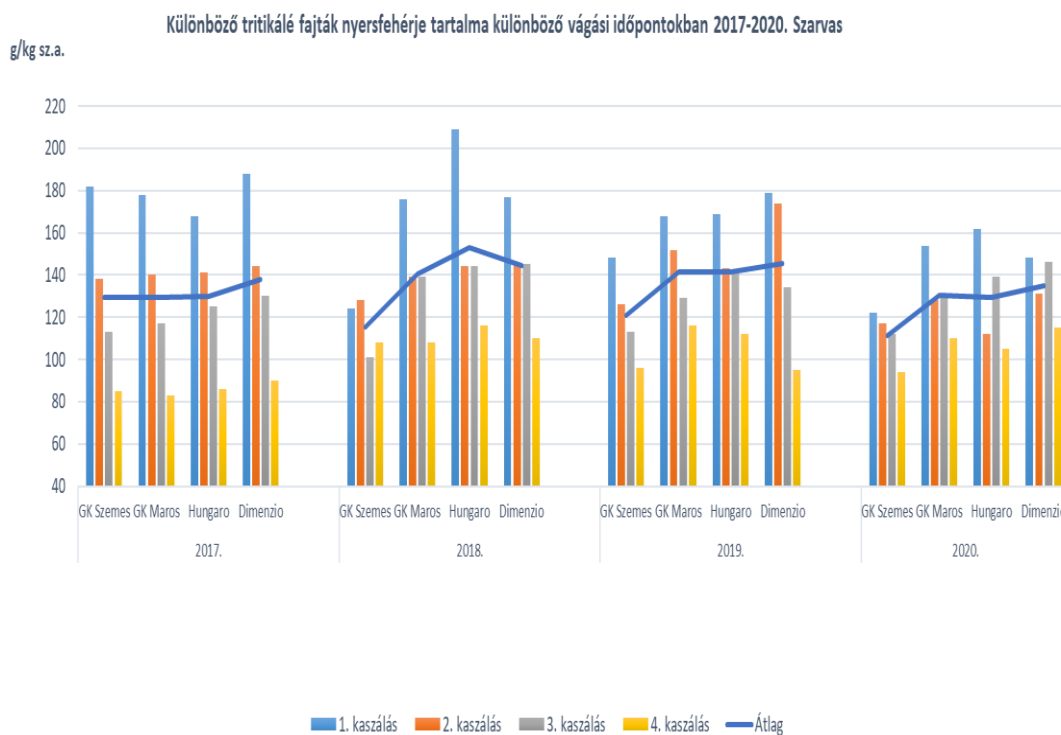
15. táblázat: A tritikálé fajták nyersfehérje tartalmának szignifikáns határértékei (g/kg sz.a.), (ifj. Kruppa et al. 2025)

Kaszálási időpontokban mért nyersfehérje tartalom (g/kg sz.a)				
Kaszálás	Átlag	Hiba	95% szignifikancia intervallum	
			Alsó határ	Felső határ
1. kaszálási időpont (BBCH45)	165,750	3,427	158,799	172,701
2. kaszálási időpont (BBCH49)	137,625	3,427	130,674	144,576
3. kaszálási időpont (BBCH58)	128,562	3,427	121,611	135,514
4. kaszálási időpont (BBCH65)	101,812	3,427	94,861	108,764

a) a kaszálási időpontok átlagában

Fajták nyersfehérje tartalma (g/kg sz.a)				
Fajta	Átlag	Hiba	95% Szignifikancia intervallum	
			Alsó határ	Felső határ
„Dimenzio”	128,288	4,055	120,063	136,512
„GK Maros”	123,325	4,055	115,100	131,550
„GK Szemes”	111,338	4,055	103,113	119,562
„Hungaro”	127,800	4,055	119,575	136,025

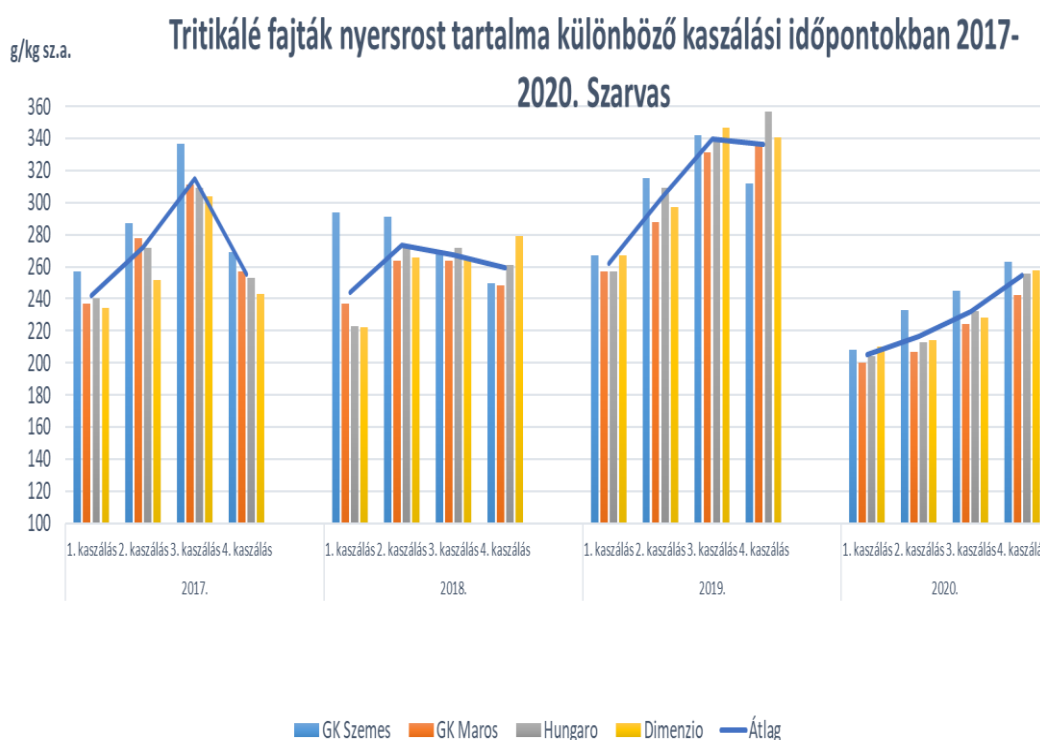
b) a fajták átlagában



9. ábra: Különböző tritikálé fajták nyersfehérje tartalma a különböző években és kaszálási időpontokban (BBCH 45-65), 2017-2020 Szarvas.

4.3.3.2 Nyersrost

A nyersfehérje tartalom mellett kiemelkedő szerep jut a zöld tömegtakarmány rosttartalmának (10. ábra). A takarmányok rosttartalma és annak összetétele elősegíti az állatok megfelelő emésztését, és segíti a takarmányok áthaladását a bélcsatornán, de a rostemésztésen keresztül jelentős táplálóanyagot és energiaszolgáltatást is biztosít. A jóminőségű rost a kérődző állatok bendőjében rostbontó baktériumok közreműködésével feltáródik, emészthetővé válik, jelentős tápanyagforrást és energiát biztosítva. Nagyon fontos a zöldtakarmányok rosttartalmának összetétele és minősége. Kísérletünkben nyomon követtük a rosttartalom változását, annak összetételét és emészthetőségét is. Elsőként a tritikálé zöldhozamok nyersrost tartalmának változását követtük nyomon a vizsgált években, a különböző betakarítási időpontokban (10. ábra).



10. ábra: Tritikálé fajták nyersrost tartalma (g/kg sz.a.) különböző években és kaszálási időpontokban (BBCH 45-65) 2017-2020, Szarvas.

A nyersrost tartalom vizsgálatánál megállapítottuk, hogy 2017-ben minden kaszálási időpontban a „Dimenzio” fajta nyersrost tartalma volt a legalacsonyabb. 2018-ban az első kaszálás alkalmával (BBCH 45) a „Dimenzio”, a többi kaszáláskor a „GK Maros” tritikálé fajta nyersrost tartalma volt a legkisebb. Ez a tendencia folytatódott 2019-ben is, ahol szintén a négy alkalomból háromszor a „GK Maros”

adta a legkisebb nyersrost tartalmat, ami 2020-ban is hasonlóan alakult, ahol minden kaszálási időpontban a „GK Maros” nyersrost tartalma volt a legalacsonyabb. A fajták között ugyan statisztikailag is igazolható különbséget a nyersrost tartalomban nem találtunk.

A kísérletben a legmagasabb nyersrost tartalmat a négy év 16 kaszálási időpontja közül 11 alkalommal a „GK Szemes” érte el, amely szerényebb nyersfehérje tartalommal is párosult, így elmondható, hogy a „GK Szemes” fajta minősége, táplálóanyag-tartalmi értéke gyengébb volt.

A nyersrost tartalom az első kaszálás (BBCH 45) alkalmával minden évben a legalacsonyabb volt. Látható a kísérletben (16. táblázat), hogy a különböző fajták nyersrost tartalmának növekedése eltérő sebességgel, intenzitással és mértékkel volt jellemezhető a kísérletben. A statisztikai vizsgálat során azt tudtuk bizonyítani, hogy az első kaszálás (BBCH 45) alkalmával a fajták nyersrost tartalma igazolhatóan alacsonyabb volt, ami egészen a harmadik kaszálásig (BBCH 58) növekedett, amely szignifikáns mértékben magasabb volt a többi időpontban mért nyersrost tartalomnál (16. táblázat). A fajták között statisztikailag is igazolható különbséget a nyersrost tartalomban nem találtunk.

16. táblázat: A tritikálé fajták nyersrost tartalmának szignifikáns határértékei (g/kg sz.a.)

Kaszálási időpontokban mért nyersrost tartalom				
Kaszálás	Átlag	Hiba	95% Szignifikancia intervallum	
			Alsó határ	Felső határ
1. kaszálási időpont (BBCH45)	238,375	5,373	227,478	249,272
2. kaszálási időpont (BBCH49)	266,125	5,373	255,228	277,022
3. kaszálási időpont (BBCH58)	288,625	5,373	277,728	299,522
4. kaszálási időpnt (BBCH65)	276,500	5,373	265,603	287,397

A negyedik kaszálás (BBCH 65) alkalmával a vizsgált négy évből három esetben csökkent a zöldhozam nyersrost-tartalma. Ennek oka, hogy ebben a fenológiai stádiumban a tritikálé már belép a generatív szakaszba, amikor a kalász — mint generatív szerv — alacsonyabb rostfrakció-tartalommal rendelkezik a vegetatív részekhez (levél, szár) képest, így a teljes növény nyersrost-tartalma arányaiban mérséklődik. Ezt támasztja alá az egyetlen eltérő évjárat (2020) is, amikor a negyedik kaszálás idején (BBCH 65) rendkívüli szárazság lassította a fenológiai fejlődést és a generatív szakaszba való átmenetet, ezért a nyersrost-tartalom csökkenése kevésbé volt kifejezett, mint a többi évben.

4.3.3.3 Neutrális detergens rost (NDF)

A nyersrost-tartalom a takarmány rostfrakcióinak hagyományos, de viszonylag durva becslését adja. Ezzel szemben a neutrális detergens rost (NDF) a sejtfal teljes rostfrakciójáról nyújt pontosabb képet, mivel magában foglalja a cellulóz, hemicellulóz és lignin összetevőket is. Az NDF ezért jobban jelzi a takarmány strukturális szénhidrát-tartalmát és annak emészthetőségét, mint a nyersrost-vizsgálat.

A vizsgálatok során a rost mennyiségét és emészthetőségét egyaránt nyomon követtük. A teljes növényből készült tritikálé zöldhozam NDF tartalmának változását elemeztük több éven át, különböző kaszálási időpontokban (11. ábra). 2017-ben, minden mintavételi időpontban a „Hungaro” és „Dimenzio” fajták mutatták a legalacsonyabb NDF értékeket. Az NDF-tartalom a harmadik mintavételi időpontig (BBCH 58) fokozatosan emelkedett, majd ezt követően csökkenni kezdett.

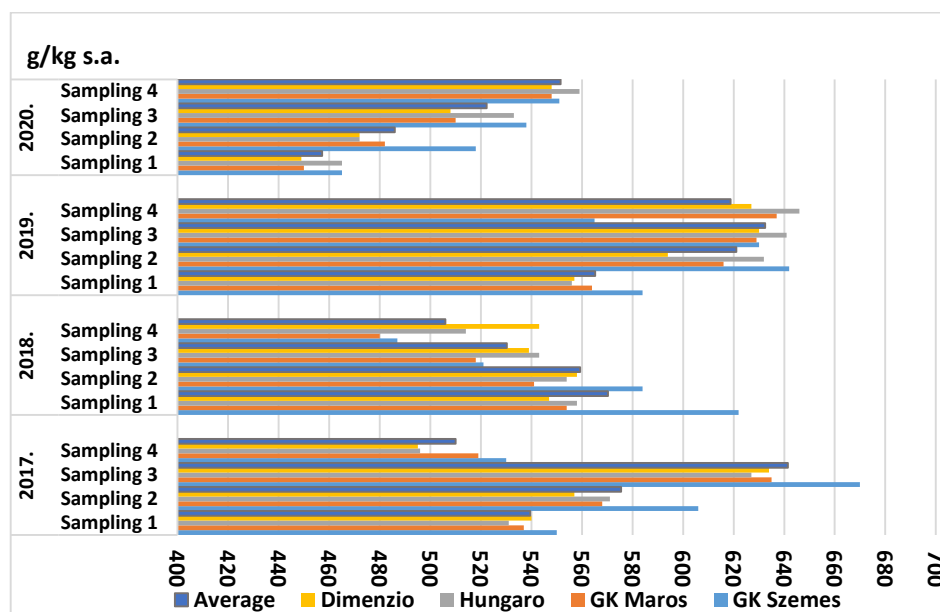
2019-ben ez a trend módosult: négy mintavételi időpontból három esetében is alacsony NDF koncentrációt mértünk három különböző fajtánál. 2020-ban viszont minden mintavételi időpontban a „Dimenzio” fajta rendelkezett a legalacsonyabb NDF értékkel a vizsgált fajták közül.

2018 tavaszán súlyos aszály lépett fel, amelynek következtében a növények korábban léptek generatív fázisba, kisebb vegetatív tömeget képeztek, és az NDF koncentráció egyenletes csökkenést mutatott. A többi évben – ahol nem lépett fel ilyen

mértékű aszálystressz – a rosttartalom minden esetben a harmadik mintavételig (BBCH 58) emelkedett.

A vizsgált négy év átlaga alapján megállapítható, hogy az NDF-tartalom jelentős eltérést mutatott a különböző fenológiai fázisokhoz kapcsolódó mintavételi időpontok között, ugyanakkor fajták közötti statisztikailag igazolható különbséget nem találtunk. Minden évben a legalacsonyabb NDF értékeket az első kaszáláskor (BBCH 45) mértük. A statisztikai elemzés megerősítette, hogy a fajták NDF koncentrációja a kezdeti fenológiai stádiumban alacsonyabb volt, mint a későbbi fejlődési szakaszokban.

A kezdeti értékekhez képest az NDF-szint a harmadik mintavételig (BBCH 58) folyamatosan emelkedett, és a második, valamint a harmadik mintavételi időpontban szignifikánsan magasabb értékeket mértünk. A negyedik mintavétel (BBCH 65) idejére azonban az NDF tartalom csökkenést mutatott. Ennek magyarázata, hogy a fenológiai fejlődés előrehaladtával a tritikálé a generatív szakaszba lép, amikor a kalászek aránya a teljes növényi tömegben növekszik. Mivel a kalászek rostfrakció-tartalma lényegesen alacsonyabb a vegetatív részekéhez (levél, szár) képest, a teljes növény NDF tartalma arányaiban mérséklődik.



11. ábra: Különböző tritikálé fajták NDF tartalmának vizsgálata a különböző években és mintavételi időpontokban (BBCH 45-65), 2017-2020 között, Szarvas (g/kg sz.a.), (ifj. Kruppa et al. 2025).

Az NDF-tartalom statisztikai elemzése alapján csak az évjárat és a kaszálási időpont esetében mutatkozott szignifikáns különbség, míg a fajták között nem volt statisztikailag igazolható eltérés (17. táblázat).

17. táblázat: A tritikálé fajták NDF tartalmának (g/kg sz.a.) statisztikai határértékei az évjáratok és a kaszálási időpontok átlagában (ifj. Kruppa et al. 2025)

Évjáratok szerinti átlagos NDF értékek				
Évek	Átlag	Hiba	95% Konfidencia intervallum	
			Alsó határ	Felső határ
2017	572,825	11,746	549,004	596,646
2018	547,638	11,746	523,816	571,459
2019	615,575	11,746	591,754	639,396
2020	510,450	11,746	491,000	529,900

Kaszálási időpontok szerinti átlagos NDF értékek				
Kaszálás	Átlag	Hiba	95% Konfidencia intervallum	
			Alsó határ	Felső határ
1. kaszálási időpont (BBCH45)	533,062	10,722	511,317	554,808
2. kaszálási időpont (BBCH49)	560,438	10,722	538,692	582,183
3. kaszálási időpont (BBCH58)	581,625	10,722	559,879	603,371
4. kaszálási időpnt (BBCH65)	546,563	10,722	524,817	568,308

4.3.3.4 Emészthető NDF (dNDF) és az NDF 48 órás emészthetősége (NDFd₄₈)

A gabonaszilázsok rosttartalma akkor értékes a takarmányozásban, ha tudjuk annak összetételét, ismerjük azt, hogy a kérődzők számára a rosttartalom milyen arányban emészthető. Ha kiváló minőségű tömegtakarmányt szeretnénk előállítani tritikálé fajták felhasználásával, akkor meg kell vizsgálnunk azt, hogy a különböző fenofázisokban történő betakarítás hogyan változtatja meg az emészthető nyersrost tartalmat (dNDF g/kg sz.a., NDFd₄₈ %).

A kísérletben 2018, 2019 és 2020. években mértük az emészthető rosttartalom változásait. A kísérletben a vizsgált négy fajta dNDF-tartalmában a három év és a négy kaszálás átlagában nem találtunk szignifikáns, statisztikailag is igazolható

különbségeket a fajták között. A részletesebb elemzés során viszont megfigyelhető volt, hogy a három év közül kettőben (2019 és 2020) minden kaszálási időpontban a legnagyobb emészthető rosttartalommal a „GK Maros” tritikálé fajta rendelkezett. Az első évben 2018-ban ugyan nem a legnagyobb dNDF-tartalmat érte el a fajta, viszont az értékek igen közel álltak a legkedvezőbb emészthető rosttartalomhoz (18. táblázat). Ez ismét rámutat arra, hogy nemcsak az évjárat gyakorol jelentős hatást a rost minőségre, hanem a tritikálé fajták genetikai háttere is.

Az dNDF értékekben statisztikailag igazolható különbségeket a különböző kaszálási időpontokban találtunk (19. táblázat). Igazolható volt, hogy a növény öregedésével az emészthető rosttartalom csökken, az utolsó, 4. kaszálási időpontban (BBCH 65) minden más időpontban mért értéktől szignifikánsan alacsonyabb dNDF-tartalmat mértünk (311,417 g/kg sz.a.). A tritikálé rosttartalma a növény öregedésével folyamatosan nő, de annak jó minőségű, emészthető része folyamatosan csökkent. A legnagyobb dNDF-tartalom az első kaszálás idején (BBCH 45) volt mérhető, vagyis az első kaszálás igen jó minőséget biztosít, alacsonyabb mennyiségű, jól emészthető rosttartalom társul a magasabb nyersfehérje tartalom mellé.

18. táblázat: A tritikálé fajták dNDF tartalmának értékei (g/kg sz.a.) a különböző években és kaszálási időpontokban 2018-2020.
Szarvas (ifj. Kruppa et al. 2025)

dNDF g/kg sz.a.		GK Szemes	GK Maros	Hungaro	Dimenzio	Átlag
2018.	1. kaszálási időpont (BBCH45)	<u>426</u>	424	418	397	416,3
	2. kaszálási időpont (BBCH49)	343	346	348	<u>355</u>	348,0
	3. kaszálási időpont (BBCH58)	280	346	348	<u>355</u>	332,3
	4. kaszálási időpont (BBCH65)	262	263	284	<u>302</u>	277,8
Átlag		327,8	344,8	349,5	352,3	
2019.	1. kaszálási időpont (BBCH45)	404	<u>413</u>	397	373	396,8
	2. kaszálási időpont (BBCH49)	408	<u>440</u>	435	393	419,0
	3. kaszálási időpont (BBCH58)	347	<u>386</u>	384	352	367,3
	4. kaszálási időpont (BBCH65)	279	<u>354</u>	333	334	325,0
Átlag		359,5	398,3	387,3	363,0	
2020.	1. kaszálási időpont BBCH45)	307	<u>324</u>	304	296	307,8
	2. kaszálási időpont (BBCH49)	344	<u>362</u>	314	314	333,5
	3. kaszálási időpont (BBCH58)	318	<u>359</u>	345	315	334,3
	4. kaszálási időpont (BBCH65)	320	<u>357</u>	338	311	331,5
Átlag		322,3	350,5	325,3	309,0	

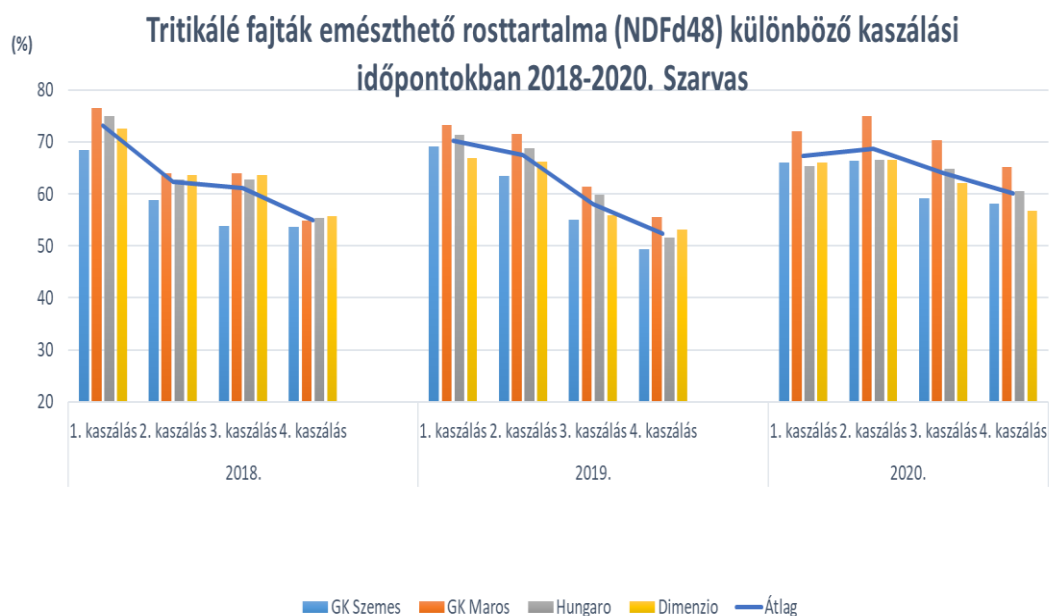
19. táblázat: A tritikálé fajták dNDF tartalmának szignifikáns határértékei (g/kg sz.a.), (ifj. Kruppa et al. 2025)

Kaszálási időpontokban mért emészthető rosttartalom				
Kaszálás	Átlag	Hiba	95% konfidencia intervallum	
			Alsó határ	Felső határ
1. kaszálási időpont (BBCH45)	373,583	11,190	350,488	396,678
2. kaszálási időpont (BBCH49)	366,833	11,190	343,738	389,928
3. kaszálási időpont (BBCH58)	344,583	11,190	321,488	367,678
4. kaszálási időpnt (BBCH65)	311,417	11,190	288,322	334,512

Az emészthető rosttartalomnak nemcsak az abszolút mennyisége, hanem az NDF 48 órás emészthetőségének (NDFd₄₈) vizsgálata is fontos. Sem a nyersrost- és NDF tartalom, sem a dNDF abszolút mennyisége nem mutatja meg teljesen a tritikálé zöldhozam minőségét, ha nem ismerjük, hogy annak mekkora hányada (%) emészthető a bendőben. Ez már teljesebb képet ad a zöld tömegtakarmány minőségéről. Ezért a kísérletben nyomon követtük azt, hogyan változik az NDFd₄₈ érték a különböző mintavételi időpontokban, a növény öregedésével.

A dNDF mennyiségének csökkenése csak akkor mutatja meg a zöld tömegtakarmány minőségét, ha azt össze tudjuk hasonlítani az öregedő növényben egyre nagyobb mennyiségben megjelenő NDF-tartalommal. Ezért minden esetben figyelemmel kísérjük az NDFd₄₈ értéket, amely megmutatja a 48 óra alatt a bendőben emészthető rosttartalom arányát százalékos értékben. Ez az érték kiválóan megmutatja, hogy a tritikálé zöldhozamban lévő rosttartalom mennyire képes hasznosulni. Ez azt jelenti, hogy a takarmányozás során értékes tápanyagot etetünk, vagy csak ballaszt anyag tölti ki az állat bendőjét.

A kísérlet során azt mértük, hogy a növény öregedésével, a rostemészthetőség hogyan változik. Az első kaszálás (BBCH 45) alkalmával mértük a legjobb NDFd₄₈ értékeket, 67,4 - 73,2%, amely a későbbi kaszálások alkalmával folyamatosan csökkent. A negyedik kaszálás (BBCH 65) alkalmával mértük a legrosszabb rostemészthetőséget 52,4 - 60,1% (12. ábra).



12. ábra: Tritikálé fajták NDFd₄₈ értékei (%) különböző években és kaszálási időpontokban (BBCH45-65), 2018-2020, Szarvas.

Az NDFd₄₈ vizsgálatánál szintén elvégeztük a statisztikai értékelést, mely a kaszálások között és a fajták között mutatott szignifikáns különbségeket. A kaszálások különböző időpontjaiban az NDFd₄₈ értékek folyamatosan csökkentek, a csökkenés mértéke olyan szintű, hogy minden egyes kaszálási időpontban szignifikáns mértékű a csökkenés (20. táblázat).

20. táblázat: A tritikálé NDFd₄₈ tartalmának (%) szignifikáns határértékei a különböző kaszálási időpontokban (ifj. Kruppa et al. 2025)

Kaszálási időpontokban mért rostemészthetőség				
Kaszalas	Átlag	Hiba	95% konfidencia intervallum	
			Alsó határ	Felső határ
1. kaszálási időpont (BBCH45)	70,233	1,052	68,062	72,405
2. kaszálási időpont (BBCH49)	66,142	1,052	63,970	68,313
3. kaszálási időpnt (BBCH58)	61,067	1,052	58,895	63,238
4. kaszálási időpnt (BBCH65)	55,808	1,052	53,637	57,980

A táblázatban jól látható, hogy a növény öregedésével folyamatosan csökken a rostemészthetőség, ami évektől és fajtától függetlenül létező tulajdonság. A negyedik időpontban (BBCH 58) mért rostemészthetőség még így is 55% feletti volt.

A kaszálási időpontokon kívül kíváncsiak voltunk arra, hogy van-e a fajták között különbség a NDFd₄₈ értékekben. A statisztikai vizsgálat során bizonyítani tudtuk, hogy a fajták között igazolható különbségek vannak (21. táblázat).

21. táblázat: A NDFd₄₈ szignifikáns határértékei (%) a fajták átlagában (ifj. Kruppa et al. 2025)

Különböző fajták rostemészthetőségének szignifikáns határértékei				
Fajta	Átlag	Hiba	95% Konfidencia intervallum	
			Alsó határ	Felső határ
„Dimenzio”	58,792	1,153	56,413	61,171
„GK Maros”	63,693	1,153	61,314	66,072
„GK Szemes”	57,675	1,153	55,296	60,054
„Hungaro”	60,505	1,153	58,126	62,884

A vizsgálat során két fajta NDFd₄₈ értéke különbözött szignifikánsan. Elsőként a „GK Maros” emelhető ki, amelyiknek a legnagyobb volt a rostemészthetősége az összes fajta között. A másik szignifikáns értéket a „GK Szemes” esetében mértük, amely az összes év és betakarítás átlagában is igazolhatóan a legalacsonyabb rostemészthetőséggel rendelkezett.

Ha a kaszálási időpontokat vizsgáljuk, akkor egyértelműen megállapítható, hogy a nyersrost- és NDF-tartalom a növény öregedésével növekszik, de a minősége, emészthetősége ezzel együtt folyamatosan romlik. Amikor a takarmányozás során a rost emészthetősége fontos szempont (pl. nagy teljesítményű tejelő tehenészetek esetén), akkor mindenképp a korai kaszálást, betakarítást részesítsük előnyben.

4.3.3.5 Laktációs nettó energia (NEI)

A tejelő tehenészetek esetében a tejtermeléshez rendkívül sok energiára van szükség. A nagy teljesítményű tehenek takarmányában ezért nem mindegy, hogy mekkora a tejtermelésre fordítható laktációs nettó energia (NEI). A tritikálé zöldhozamokban ezért megvizsgáltuk a laktációs nettó energiatartalmat (NEI) is (22. táblázat).

22. táblázat: A tritikálé fajták laktációs nettó energia (NEI) értékei (MJ/kg sz.a.) a különböző években és kaszálási időpontokban

		GK Szemes	GK Maros	Hungaro	Dimenzio	Átlag
2017.	1. kaszálási időpont (BBCH45)	5,96	5,98	5,98	5,95	5,97
	2. kaszálási időpont (BBCH49)	5,92	6,01	5,93	5,84	5,93
	3. kaszálási időpont (BBCH58)	5,50	5,49	5,49	5,48	5,49
	4. kaszálási időpont (BBCH65)	5,60	5,80	5,80	5,50	5,68
2018.	1. kaszálási időpont (BBCH45)	5,80	6,60	6,70	6,60	6,43
	2. kaszálási időpont (BBCH49)	6,80	7,10	7,00	7,10	7,00
	3. kaszálási időpont (BBCH58)	7,20	7,10	7,00	7,10	7,10
	4. kaszálási időpont (BBCH65)	7,40	7,40	7,30	7,00	7,28
2019.	1. kaszálási időpont (BBCH45)	6,30	7,30	7,20	7,10	6,98
	2. kaszálási időpont (BBCH49)	6,60	6,90	6,50	6,70	6,68
	3. kaszálási időpont (BBCH58)	6,10	6,20	5,90	5,90	6,03
	4. kaszálási időpont (BBCH65)	6,50	6,10	5,80	6,10	6,13
2020.	1. kaszálási időpont (BBCH45)	7,80	7,70	7,70	7,70	7,73
	2. kaszálási időpont (BBCH49)	7,40	7,70	7,70	7,70	7,63
	3. kaszálási időpont (BBCH58)	7,40	7,60	7,40	7,50	7,48
	4. kaszálási időpont (BBCH65)	7,20	7,50	7,30	7,30	7,33

Az adatokból látható, hogy a különböző fajták és évek között igazán nagy különbségeket nem találtunk. Az egyetlen statisztikailag is alátámasztható különbség a nettó laktációs nettó energiatartalomban, csak az eltérő kaszálási időkben volt (23. táblázat).

Megfigyelhető, hogy az eddigi eredményeknek megfelelően az első két kaszálás (BBCH 45-49) során mértünk szignifikánsan magasabb nettó laktációs energiatartalmat, amely az első két kaszálás során a zöldhozamban lévő nagy mennyiségű emészthető rosttartalomnak köszönhető. Az előregedő, és az egyre

gyengébben emészthető rosttartalmú tritikálé zöldhozamok energiatartalma is elmarad a korábban betakarított zöldhozamokétól.

23. táblázat: A tritikálé laktációs nettó energiatartalmának (NEI) szignifikáns határértékei (%) különböző kaszálási időpontokban

Kaszálási időpontokban mért nettó laktációs energiatartalom (NEI)				
Kaszálás	Átlag	Hiba	95% Konfidencia intervallum	
			Alsó határ	Felső határ
1. kaszálási időpont (BBCH45)	6,773	0,095	6,581	6,965
2. kaszálási időpnt (BBCH49)	6,806	0,095	6,614	6,998
3. kaszálási időpont (BBCH58)	6,523	0,095	6,330	6,715
4. kaszálási időpont (BBCH65)	6,600	0,095	6,408	6,792

4.3.3.6 Esszenciális aminosavak (lizin, metionin)

A takarmányfehérje biológiai értékét nem csupán a nyersfehérje-tartalom határozza meg, hanem annak aminosav-összetétele is. A lizin és metionin esszenciális aminosavak, amelyeket a kérődző állatok szervezete nem képes szintetizálni, így takarmány útján szükséges biztosítani. A gabonafélék, köztük a tritikálé is, általában lizinben és metioninban szegények, ezért ezek hiánya gyakran limitáló tényezővé válik a fehérje hasznosulás szempontjából.

A 2017–2020 közötti vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a tritikálé zöldhozam lizintartalma a kaszálás időpontjától és az évjárattól szignifikáns mértékben függött, ugyanakkor a vizsgált genotípusok (fajták) között nem mutatkozott statisztikailag igazolt különbség.

A négy év átlagában a „GK Maros” fajta lizintartalma volt a legmagasabb, kivéve 2017-ben, amikor a különbség elhanyagolható volt. A legalacsonyabb értékeket általában a „GK Szemes” fajta mutatta (24. táblázat). A lizintartalom az első kaszálási időpontban (BBCH 45) mutatta a legmagasabb értékeket (átlagosan 4,34 g/kg sz.a.), míg a negyedik kaszálásnál (BBCH 65) jelentősen alacsonyabb értékek mérhetők (átlagosan 3,27 g/kg sz.a.). Az évjáratok között is szignifikáns eltérések adódtak: a

2020-as év kiemelkedő eredményeket hozott (átlag: 4,03 g/kg sz.a.), míg 2019-ben mérték a legalacsonyabb értéket (3,17 g/kg sz.a.) (24. táblázat). Érdekesség, hogy a fajták közötti különbség nem bizonyult statisztikailag igazolhatónak, így a környezeti tényezők (évjárat) és az agronómiai beavatkozás (kaszási idő) meghatározóbbak az aminosav-tartalom szempontjából.

A statisztikai elemzés (25. táblázat) megerősítette, hogy a kaszálás időpontja és az évjárat is jelentős hatással volt a lizintartalomra. A fajta, illetve az interakciók hatása nem volt szignifikáns.

24. táblázat: A tritikálé fajták lizintartalmának értékei (g/kg sz.a.) a különböző években és kaszási időpontokban

Lizin g/kg sz.a.	fajta	1. kaszás (BBCH45)	2. kaszás (BBCH49)	3. kaszás (BBCH58)	4. kaszás (BBCH65)	Átlag
2017.	„GK Szemes”	4,8	3,8	3,3	2,8	3,675
	„GK Maros”	5	4,1	3,5	2,8	3,850
	„Hungaro”	4,7	4	3,7	3	3,850
	„Dimenzio”	5	3,9	3,7	2,8	3,850
	Átlag	4,875	3,950	3,550	2,850	
2018.	„GK Szemes”	3,7	3,3	3,3	3,5	3,450
	„GK Maros”	5	3,6	3,6	3,6	3,950
	„Hungaro”	5,2	3,4	3,4	3,5	3,875
	„Dimenzio”	4,5	3,4	3,4	3,2	3,625
	Átlag	4,600	3,425	3,425	3,450	
2019.	„GK Szemes”	3,7	3,3	2,9	3,1	3,250
	„GK Maros”	3,8	3,5	2,9	3	3,300
	„Hungaro”	3,7	3,4	2,9	2,6	3,150
	„Dimenzio”	3,6	3,4	2,7	2,9	3,150
	Átlag	3,700	3,400	2,850	2,900	
2020.	„GK Szemes”	4,3	4	3,6	3,8	3,925
	„GK Maros”	4,3	4,5	4,1	4,2	4,275
	„Hungaro”	4,1	4,4	3,9	3,8	4,050
	„Dimenzio”	4,1	4,3	3,9	3,8	4,025
	Átlag	4,200	4,300	3,875	3,900	

25. táblázat: A tritikálé lizintartalmának (g/kg sz.a.) szignifikáns határértékei az évjáratok és a kaszálások időpontok átlagában

Évjáratok szerinti átlagos lizin értékek				
Évek	Átlag	Hiba	95% Konfidencia intervallum	
			Alsó határ	felső határ
2017	3,768	0,108	3,549	3,986
2018	3,686	0,108	3,468	3,905
2019	3,174	0,108	2,955	3,392
2020	4,030	0,088	3,852	4,208

Kaszálási időpontok szerinti átlagos lizin értékek				
Kaszálás	Átlag	Hiba	95% Konfidencia intervallum	
			Alsó határ	Felső határ
1. kaszálási időpont (BBCH45)	4,344	0,098	4,145	4,543
2. kaszálási időpont (BBCH49)	3,769	0,098	3,570	3,968
3. kaszálási időpont (BBCH58)	3,425	0,098	3,226	3,624
4. kaszálási időpont (BBCH65)	3,275	0,098	3,076	3,474

A metionintartalom vizsgálata alapján megállapítható, hogy a kaszálási időpont és az évjárat szignifikáns hatást gyakorolt az erjesztett tömegtakarmány céljára zölden betakarított tritikálé metionin szintjére. Tehát hasonló mintázat mutatkozott a metionin esetében is: az első kaszáláskor (BBCH 45) átlagosan 1,59 g/kg sz.a. értéket mértek, amely a negyedik kaszálásra (BBCH 65) 1,22 g/kg sz.a.-ra esett vissza. Az évjáratok közül 2020 szintén kiemelkedett (1,46 g/kg sz.a. éves átlag), míg 2019-ben a legalacsonyabb metioninszintet mértünk (1,21 g/kg sz.a.) (26. táblázat). A kaszálási idő és az évjárat egyértelműen szignifikáns hatást gyakorolt mindkét aminosav koncentrációjára (27. táblázat), míg a genotípus – hasonlóan a lizinszinthez – itt sem bizonyult szignifikánsnak.

A vizsgálatok megerősítették, hogy a korai betakarítás nem csupán a nyersfehérje mennyiségét, hanem az aminosav-összetétel minőségét is pozitívan befolyásolja, így a tritikálé takarmányozási értéke komplex módon javítható jól megválasztott kaszálási idővel (fenológiai stádiummal).

26. táblázat: A tritikálé fajták metionintartalmának értékei (g/kg sz.a.) az eltérő években és kaszálási időpontokban 2017-2020 Szarvas (g/kg sz.a.)

Metionin g/kg sz.a.	fajta	1. kaszálás (BBCH45)	2. kaszálás (BBCH49)	3. kaszálás (BBCH58)	4. kaszálás (BBCH65)	Átlag
2017.	„GK Szemes”	1,8	1,4	1,2	1,1	1,375
	„GK Maros”	1,8	1,5	1,3	1,1	1,425
	„Hungaro”	1,7	1,5	1,4	1,1	1,425
	„Dimenzio”	1,8	1,4	1,4	1,1	1,425
	Átlag	1,775	1,450	1,325	1,100	1,4125
2018.	„GK Szemes”	1,4	1,2	1,2	1,3	1,275
	„GK Maros”	1,8	1,3	1,3	1,3	1,425
	„Hungaro”	1,9	1,3	1,3	1,3	1,450
	„Dimenzio”	1,7	1,3	1,3	1,2	1,375
	Átlag	1,700	1,275	1,275	1,275	1,38125
2019.	„GK Szemes”	1,4	1,2	1,1	1,2	1,225
	„GK Maros”	1,4	1,3	1,1	1,1	1,225
	„Hungaro”	1,4	1,3	1,1	1	1,200
	„Dimenzio”	1,3	1,3	1,1	1,1	1,200
	Átlag	1,375	1,275	1,100	1,100	1,2125
2020.	„GK Szemes”	1,5	1,4	1,3	1,4	1,400
	„GK Maros”	1,5	1,6	1,5	1,5	1,525
	„Hungaro”	1,5	1,5	1,4	1,4	1,450
	„Dimenzio”	1,5	1,5	1,4	1,4	1,450
	Átlag	1,500	1,500	1,400	1,425	1,45625

27. táblázat: A tritikálé fajták metionintartalmának (g/kg sz.a.) szignifikáns határértékei az évjáratok és a kaszálási időpontok átlagában

Évjáratok szerinti átlagos metionin értékek				
Évek	Átlag	Hiba	95% Konfidencia intervallum	
			Alsó határ	Felső határ
2017	1,391	0,037	1,317	1,466
2018	1,360	0,037	1,286	1,434
2019	1,191	0,037	1,117	1,266
2020	1,435	0,030	1,374	1,496

Kaszálási időpontok szerinti átlagos metionin értékek				
Kaszálás	Átlag	Hiba	95% Konfidencia intervallum	
			Alsó határ	Felső határ
1. kaszálási időpont (BBCH45)	1,587	0,033	1,520	1,655
2. kaszálási időpont (BBCH49)	1,375	0,033	1,307	1,443
3. kaszálási időpont (BBCH58)	1,275	0,033	1,207	1,343
4. kaszálási időpont (BBCH65)	1,225	0,033	1,157	1,293

5. MEGVITATÁS

Az 5. fejezetben PhD témám két fontos - haploid módszer használata a tritikálké nemesítésben és a tritikálé tömegtakarmányként történő felhasználása – kutatási területét vitatjuk meg. Mindkét téma nem csupán a nemesítési alkalmazás, de kutatási szempontból is nagyon fontos. Haploid témában régebb óta vannak szakirodalmi eredmények, de rutinszerű nemesítési alkalmazásra viszonylag kevés irodalmi hivatkozás található. A tömegtakarmány célú felhasználást a globális klímaváltozás és a tritikálé kiváló beltartalmi (táplálóanyag-tartalmi) értékei hozták kutatásunk fókuszába. Az alábbiakban kutatási eredményeimet összegzem a szakirodalmi adatok tükrében.

5.1. Haploid és DH tritikálé növények előállítása

A hatékony DH növénynemesítési módszerek alkalmazása egyre inkább előtérbe kerül a modern növénynemesítési- és kutatási programokban (Dunwell 2010; Longin et al. 2014; Islam és Tuteja 2012; Lantos et al. 2016, 2019; Oleszczuk és Lukaszewsky 2014; Nagy et al. 2022; Lantos et al. 2022). A különböző nemesítési és kutatási programok igényei tehát arra ösztönzik a növény biotechnológia kutatóit, hogy folyamatosan javítsák a portoktenyésztés módszertanát. Mindazonáltal az albinizmust és a genotípus-függőséget a tritikálé portoktenyésztés korlátozó tényezőiként említik sokan (Tuvešson et al. 2000; Eudes és Amundsen 2005; Gonzalez et al. 2005; Krzewska et al. 2012; Zur et al. 2008; Lantos et al. 2014; Gonzalez et al. 1997; Ponitka et al. 1999; Tuvešson et al. 2003; Warzecha et al. 2005; Mozgova et al. 2012), mivel az albínó növényké a nemesítésben nem használhatók. Kísérleteink azt bizonyítják, hogy a módszer fejlesztésével, optimalizálásával a zöld növényké száma emelhető és az albínó növényké száma csökkenthető. Ezzel a portoktenyésztés módszere egyre alkalmazhatóbbá válik rutinszerű növénynemesítési alkalmazásra.

Négy tritikálé fajta és nyolc F₁ hibridjük androgenezis választ két különböző indukciós tápközeg segítségével hasonlítottuk össze. A genotípus-függőség mérséklésére már sok fejlesztés került publikálásra, és a megjelenő dolgozatok nagy figyelmet fordítanak a genotípus-függőség vizsgálatára (Tuvešson et al. 2000; Eudes és Amundsen 2005; Krzewska et al. 2012). Bár a genotípus-független módszer

kidolgozása továbbra is kihívást jelent, kísérletünkben minden vizsgált genotípus esetében sikerült ELS-et, zöld- és albínó növénykéket előállítani (ifj. Kruppa et al. 2023). A vizsgált genotípusokból DH törzseket is előállítottunk. A korábbi publikációkkal összhangban (Eudes és Amundsen 2005; Gonzalez et al. 2005; Zur et al. 2008; Lantos et al. 2014), a genotípus szignifikánsan befolyásolta az ELS-ek számát ($p \leq 0,001$), az albínó- ($p = 0,01$), a zöld- és az kiültetett növényké ($p \leq 0,001$) számát. Saját eredményeink (ifj. Kruppa et al. 2023) megerősítik az előbbieken idézett szakirodalomokban publikált eredményeket.

Mindkét indukciós tápközeg hatékonyan alkalmazható androgenezis indukálására és DH növények előállítására. Az indukciós tápközeg szignifikánsan befolyásolta az ELS, zöld/albínó és a kiültetett növényké (zöld) számát ($p \leq 0,05$) (ifj. Kruppa et al. 2023). A makro- és mikroelem összetétel volt a fő különbség a két indukciós tápközeg között. Mások már bizonyították a Cu(II) és Ag(I) kulcsszerepét az androgenezis indukációjában (Bednarek 2022; Orłowska et al. 2022, 2023; Pachota et al. 2022). Tehát a tápközeg összetételének módosítása és további komponensek hozzáadása tovább növelhetik az androgenezis indukációjának eredményét (Niazian és Shariatpanahi 2020; Asif et al. 2014; Maheshwari és Laurie 2021). A további kísérletekben változatlanul nagy figyelmet kell fordítani a tápközeg optimalizálására, hogy a módszer nemesítési hatékonyságát növelni tudjuk.

A növényregenerálási kísérletben ELS, zöld- és albínó növényké regenerálódtak. Az ELS zöld növénykévé regenerálása nagyon fontos paramétere az *in vitro* androgenezisnek. A W14mf tápközegben az ELS-ek és albínó növényké száma kevesebb volt, mint a P4mf esetében (ifj. Kruppa et al. 2023), hasonlóan a búza portoktenyésztésben végzett korábbi eredményekhez (Lantos és Pauk 2016). Így feltehető, hogy ennek a tápközegnek a módosításával növelhető a kezdeti sejtosztódások aránya és ez által az ELS-ek száma is. A W14mf tápközegen képződött ELS-ekből zöld növénykévé történő regeneráció gyakorisága magasabb volt (18,01%), mint a P4mf tápközegről származó ELS-ek esetében (15,92%) (ifj. Kruppa et al. 2023). A W14mf indukciós tápközeg használata növénynemesítési szempontból jobbnak bizonyult.

A spontán kromoszóma-kettőződés százalékos aránya általában alacsony a tritikálé portoktenyésztésében, a legtöbb közlemény kevesebb, mint 35%-os értéket említ (Arzany és Darvey 2001; Würschum et al. 2012; Lantos et al. 2014).

Természetesen arra kell törekednünk, hogy a spontán rediploidizálást növelni tudjuk. Kísérletünkben ezek az értékek 19,44-67,44% között változtak a tritikálé genotípustól függően, ami összhangban áll – néhány esetben jobb - az előbbieken említett publikált eredményekkel. A kromoszómakettőződés átlaga 29,28% volt a vizsgált genotípusok adatai alapján (ifj. Kruppa et al. 2023) , hasonlóan a mások által korábban publikált adatokhoz (Lantos et al. 2014, 13,54%; Würschum et al. 2012, 32,1%).

5.2. Az előállított DH növények homogenitás vizsgálata

A DH₀ növénykéek felnevelése és a magfogás után a DH₁ generációt is felneveltük, és molekuláris genetikai módszerrel vizsgáltuk az utódnemzedék (DH₂) genetikai homogenitását. A molekuláris genetikai eredmények alátámasztják, hogy nagyon hatékony DH alapú nemesítési eljárást érdemes kombinálni kodomináns molekuláris marker technikák, például SSR analízis alkalmazásával.

Az Xwmc primereket hexaploid búzára tervezték a Wheat Microsatellite Consortium/WMC által (Song et al. 2002), az SCM (*Secale cereale* microsatellite) primereket a rozs genomja alapján tervezték meg (Rychlik és Rhoads 1989), míg a BARC primerek egy árpa-búza USA géntérképező programból származtak (Song et al. 2002). A tritikálé fajták molekuláris marker alapú genotipizálását először az összehasonlító térképezés eredményeinek felhasználásával kezdték meg (Van Deynze et al. 1998). Kuleung et al. (2004) tapasztalatait figyelembe véve – akik bizonyították, hogy a 182 búza marker 58%-a és a 28 rozs marker 39%-a alkalmas a tritikálé fajták vizsgálatára – mi is ezeket a búza és rozs primereket használtuk.

A molekuláris genetikai eredmények megerősítik, hogy a kettőshaploid (DH) alapú nemesítési eljárás rendkívül hatékony, különösen akkor, ha azt kodomináns molekuláris markereken alapuló technikákkal – mint például az SSR-analízis – kombináljuk. Ez a megközelítés lehetővé teszi, hogy azonosítani tudjuk mind a haploidizációt, mind a hibridizáció során előforduló esetleges hibákat a kiindulási anyag előállítása során. Hasonló következtetésre jutott Lagunovskaya et al. (2020) is, akik búza SSR markereket alkalmaztak a DH tritikálé genotípusok polimorfizmusának

és homozigotásának vizsgálatára. A mi munkánk során mind a búza (Xwcm9, Xwcm603, BAR108), mind a rozs (SCM92, SCM126, SCM150, SCM176) genom-specifikus primerekkel sikerült PCR termékeket amplifikálni, azonban a legnagyobb polimorfizmust az SCM92, SCM126 és Xwcm603 lokuszok esetében figyeltünk meg (ifj. Kruppa et al. 2023).

A vizsgált DH törzsek nagy részére a homogenitás egyértelműen kimutatható volt. Néhány DH-vonal (2–8%) esetében inhomogenitást figyeltünk meg, amelyet a tritikáléra jellemző – nem magas százalékú, de mégis zavaró - idegentermékenyülési hajlammal magyarázható (ifj. Kruppa et al. 2023). Az idegen beporzás gyakorisága a tritikálében magasabb, mint a búzában. Erre mások is (Hills et al. 2008) felhívják a figyelmet. Ebből adódóan a nemesítési és fajtafenntartási folyamatok során kiemelten fontos a térbeli izoláció szigorú és következetes betartása. Más esetben, az utódgenerációkban DH törzsek esetén is megjelennek az idegen egyedek (hasadványok). Ezek a fajtafenntartási munkákat nehezítik, tehát javasoljuk a térbeli izoláció komoly figyelembevételét (ifj. Kruppa et al. 2023).

5.3. Tömegtakarmány céljára vegetatív fenofázisokban betakarított tritikálé zöldhozama és táplálóanyag-tartalma

A tritikálé, mint tömegtakarmány célra hasznosított gabonaféle eddig a növénytermesztésnek alig vizsgált területe volt. A tritikálé zöldhozamokról és azoknak táplálóanyag-tartalmi értékeiről nem, vagy csak igen szűkkörű információ állt rendelkezésre eddig Magyarországon, de a világirodalomban is. Kísérletünkben célunk volt, hogy a tritikálé ilyen jellegű hasznosítását megvizsgáljuk Magyarországon elsőként, és levonjuk a következtetéseket arról, hogy a növényfaj és a vizsgált fajták alkalmasak-e zöld tömegtakarmány előállítására, és annak a minősége milyen takarmányértéket mutat. Eddig a klasszikus gabona zöldtakarmány alapjait a rozs (*Secale cereale* L.) adta (Kruppa et al. 2018; Brzozowski et al. 2023; Plastina et al. 2023) és mostanában került csak elő a tritikálé felhasználása.

A vizsgált tritikálé genotípusok a 2017–2020 közötti időszakban 18,836–31,555 t/ha közötti zöldhozamot adtak (ifj. Kruppa et al. 2025), amely összhangban van a szakirodalomban korábban közölt eredményekkel (Kruppa et al. 2018b, 15-22

t/ha zöldhozam; Sharma 2023, 15,2–21,4 t/ha zöldhozam; Cui et al. 2025, 20,1–29,8 t/ha zöldhozam). Következésképpen jelenleg és a közeljövőben is javasolhatók tömegtakarmány termesztésre, ugyanis ezeknek a téli félév csapadékát hatékonyan hasznosító, kis vízigényű őszi vetésű kalászos gabonaféléknek a klímaváltozás várhatóan nem fogja csökkenteni a kora tavasszal (áprilisban) már betakarítható hozamát (Kruppa et al. 2018). Az utóbbi időben bolygónk klímájának és a környezet védelmének érdekében fontos feladat hárul a mezőgazdaságra is. E cél elérése szempontjából nagyon kedvező az ősszel elvetett és télen, kora tavasszal zöld növényzettel borított talaj. Különösen pozitív, ha ez minimális környezetet terhelő vegyszer felhasználásával érhető el – mint a takarmányozási célra korán betakarított rozs és tritikálé.

A kísérleti eredményeink alapján megállapítottuk, hogy a korai kaszálással (BBCH 45) igen kedvező nyersfehérje tartalmat tudunk elérni a tritikálé zöldhozamok esetében. A kaszálások időpontjának eltolódásával a nyersfehérje tartalom szignifikánsan csökkent. Hasonló tendenciát erősít meg a nemzetközi szakirodalom is (Khorasani et al. 1997; Delogu et al. 2002; De Zutter et al. 2023). Vizsgálatainkban ez az érték átlagosan 165,75 g/kg sz.a. szintről 101,81 g/kg sz.a.-ra mérséklődött (ifj. Kruppa et al. 2025), ami jelentős beltartalmi (táplálóanyag-tartalmi) csökkenést és a takarmány minőségének romlását jelzi.

A rostfrakciók alakulása szorosan függött a kaszálási időponttól (BBCH 45-65), a nyersrost 238,38-ról 288,63 g/kg sz.a.-ra, az NDF 533,06-ról 581,63 g/kg sz.a.-ra nőtt (ifj. Kruppa et al. 2025), ezt a tendenciát megerősíti Coblenz és Ottman (2022) vizsgálata (BBCH ~47-65) is, miközben az NDF_{d48} (az NDF 48 órás emészthetősége) a fenológiai stádium előrehaladtával 70,23%-ról 55,81%-ra csökkent. Ez a tény a rost biológiai hasznosulásának romlását jelzi. Khorasani et al. (1997) ugyanakkor a szárbaindulástól a viaszérésig (BBCH ~45-85) tartó idősoros vizsgálatban azt mutatta, hogy az NDF alakulása nem monoton. A korai szakaszban (szárbaindulás/kalászhányás) emelkedik - összhangban a mi eredményeinkkel -, majd a tejes- és viaszérés fázisában a szem keményítő-felhalmozódásával csökken. Ez segít értelmezni az eltérést De Zutter et al. (2023) eredményeivel: Ők a virágzás utáni időszakot (BBCH 75-87; tejes- viaszérés) elemezték, ahol a kalászban fejlődő szemek keményítője a teljes növény NDF-koncentrációját „hígítja”, így NDF-csökkenést és lényegében változatlan NDF_{d48} értékeket írtak le. Megjegyzendő, hogy saját

eredményeinkben is a teljes virágzásra (BBCH 65) az NDF tartalom már csökkenni kezdett, ami átvezet a Khorasani et al. (1997) és De Zutter et al. (2023) által leírt későbbi fenológiai szakaszok trendjéhez. E tekintetben hazai adatok korábban nem álltak rendelkezésre, így eredményeink hiánypótló információval szolgálnak.

Mindez összhangban áll a Mertens (1997) által lefektetett elméleti takarmányozási alapelvekkel, miszerint a növény öregedésével általánosan nő a rostfrakciók aránya, miközben csökken a rost emészthetősége, ami a kérődzők takarmányfelvételét és a tejtermelését kedvezőtlenül befolyásolja.

Ha összehasonlítjuk a szakirodalmakban található silókukorica rostemészthetőségével, akkor megállapítható, hogy a kukoricaszilázs NDF_{d48} értéke 50-55% között változott az elmúlt években (Oba és Allen 1999; Goeser és Combs 2009). Ez arra utal, hogy a tritikálé zöldhozamok minősége ebből a szempontból jobb, mint a kukoricaszilázsé. Ez az eredmény nagyon hangsúlyosan esik latba és rámutat arra, hogy a tritikálé zöldtakarmány célú felhasználása aktuális téma.

A lizin- és metionintartalom vizsgálatánál megállapítottuk, hogy mind a két aminosav esetében a legmagasabb értékeket minden esetben az első kaszálás (BBCH 45) alkalmával mértük, ezek az idő előrehaladtával – a növény érésével – folyamatosan csökkentek, valamint a statisztikai kiértékelés szerint a kaszálási időpont és az évjárat szignifikáns hatást gyakorolt a tritikálé zöldhozam lizin és metionin szintjére. Tehát ezen aminosavak erősen függenek az évjárattól és a betakarítás idejétől. A szakirodalmi áttekintés során megállapítottuk, hogy a tritikálé zöldhozamának aminosav összetételére – különösen a lizin- és metionintartalomra – sem hazai, sem nemzetközi szinten nem állnak rendelkezésre publikált adatok. A vonatkozó kutatások döntő többsége a tritikálé szemtermésének fehérje- és aminosav-összetételére, illetve a zöld biomassa nyersfehérje- és rostfrakcióinak vizsgálatára koncentrált (pl. Coblenz és Ottman 2022; De Zutter et al. 2023; Cui et al. 2025). A jelen munkában közölt eredmények ezért újszerű tudományos hozzájárulást képviselnek, mivel elsőként mutatják be a tritikálé zöldhozam lizin- és metionintartalmát több éven keresztül, különböző fenológiai fázisokban.

Az új hazai tritikálé fajták ígéretesnek tűnnek, mert április végén versenyképesek a rozssal mind hozamukban, mind tápláléértékükben, és még tejes

érésben betakarítva is kiváló tömegtakarmányt biztosítanak a növendék állatok részére, valamint érett szemtermésük is jó abraktakarmány (Hoffmann et al. 2016a; Kruppa et al. 2017; Orosz 2017a, Orosz 2017b; Orosz et al. 2017; Orosz et al. 2018). Jelen vizsgálatunkban a zöldhozamok NEI-tartalma az első két kaszálás (BBCH 45-49) alkalmával szignifikánsan nagyobb volt, mint a későbbi kaszálások energiatartalma. Ezt a tendenciát támasztja alá a nemzetközi szakirodalom is. Coblenz és Ottman (2022) szerint a tritikálé zöldhozam laktációs nettó energiatartalma (NEI) csökken a növény öregedésével, vagyis a későbbi fenológiai stádiumokban betakarított növényállomány alacsonyabb NEI-értékekkel rendelkezik, mint a korábban betakarított. A felhasználás szempontjából ezzel is számolnunk kell.

Az eddigi eredmények alapján a Hungaro és Dimenzio tritikálé fajtával biztonságosan – rozshoz hasonló előnyökkel - tovább növelhető a zöld tömegtakarmány előállító terület és betakarítása beilleszthető a rozs és lucerna közé. További előny, hogy a területet a rozs vagy tritikálé betakarítása (április) után még tavaszi fővetésű növényekkel hasznosítani lehet (Kruppa és Iván 2016). A kettős termesztésben azonban az éves takarmányhozamok kukoricaszilázs része jellemzően 10 - 20% közötti mértékben csökkent, a megkésett vetés miatt (PSU 2015). Mindemellett a tritikálé lassabban 'öregszik' a kaszálás szempontjából kritikus kalászoslási időszakban, ezért több idő áll rendelkezésre a jó minőségű alapanyag optimális időpontban történő betakarítására (a 'betakarítási ablak' nagyobb). Mivel később kalászol, mint a rozs, ezért a rozs kaszálását befejezve folytatható a tritikáléval a jó minőségű alapanyag kaszálása, így tovább csökkenthető az időjárásból eredő kockázat is (Hoffmann et al. 2016b; Orosz 2017a; Orosz 2017b; Orosz et al. 2017; Kruppa et al. 2017; Orosz et al. 2018).

6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Kutatómunkám új tudományos eredményeit az alábbi négy pontban foglaltam össze:

1. P4mf és W14mf indukciós tápközegek jól alkalmazhatók a tritikálé fajták és hibridek portoktenyésztése során. A két tápközeg összetétele és a genotípus is jelentős (szignifikáns) hatással volt a zöld, albínó és kiültetett növénykéek számára. Az alkalmazott két indukciós tápközeg hatékonyan alkalmazható tritikálé androgenezis indukálására és DH növények előállítására.
2. Vizsgálataink alapján molekuláris genetikai markerek felhasználásával dokumentáltuk a hazai tritikálé DH törzsek genetikai homogenitását. Megállapítottuk, hogy az idegentermékenyülési hajlam következtében a DH-törzsek egy része (2–8%) genetikai inhomogenitást mutatott a DH₂ generációban. Így a nemesítési és fajtafenntartási folyamatok során a mechanikai és térbeli izoláció szigorú és következetes betartására különösen fontos tritikálé esetében.
3. A dolgozatban - Magyarországon elsőként - részletesen vizsgáltuk négy magyar nemesítésű tritikálé fajta („Hungaro”, „Dimenzio”, „GK Szemes”, „GK Maros”) nyersfehérje-, rost-, emészthető rost- és aminosav tartalmának változását több éven keresztül, különböző fenológiai fázisokban. Több év kísérleti adatainak feldolgozása alapján megállapítottuk, hogy a növények öregedésével a tritikálé fajták rostemészthetősége, nyersfehérje-, energia- és aminosavtartalma csökken, miközben a rosszul emészthető rostfrakciók aránya nő, ami tápláléérték-csökkenést eredményez.
4. Komplex elemzésünk alapján megállapítottuk, hogy a vizsgált magyar nemesítésű tritikálé fajták a nagy hozamú tehenészetek takarmányozási célú felhasználására a korai betakarítást, az első kaszálást javasoljuk.

7. JAVASLATOK AZ EREDMÉNYEK HASZNOSÍTÁSÁRA

Négy tritikálé fajta és 8 F₁ kombináció androgenezis válaszát két különböző indukciós tápközeg segítségével hasonlítottuk össze. Mindkét indukciós tápközeg hatékonyan alkalmazható androgenezis indukálására és DH növények előállítására. A makro- és mikroelem összetétel volt a fő különbség a két indukciós közeg között. A tápközeg összetételének további vizsgálata és optimalizálása tovább javíthatja az androgenezis indukciójának eredményét.

Az albinizmus az *in vitro* androgenezis során megfigyelhető többtényezős jelenség. Különösen gyakori gabonafajok, elsősorban a búza és árpa *in vitro* tenyésztése során. A jelenség hátterében számos tényező állhat, melyek önállóan vagy egymással kölcsönhatásban is hozzájárulhatnak az albínó növénykéké létrejöttéhez. Ezek közé tartozik: a genotípus szerepe, a donor növények nevelési körülményei, az alkalmazott stressz (hideg) előkezelések, *in vitro* tenyésztési körülmények, a kloroplasztisz fejlődéséhez kapcsolódó molekuláris és genetikai tényezők. Fontos megemlíteni, hogy a különböző fémionok – mint a vas, réz vagy mangán – szintje is befolyásolhatja a fotoszintetikus apparátus felépülését és működését, amely közvetlen kapcsolatban áll az albinizmus megjelenésével. Kísérleteim során az albinizmus kutatásával csak érintőlegesen foglalkoztunk, de a jövőben érdemes külön programot indítani a jelenség további feltárására. Az albinizmus csökkentése érdekében célszerű az *in vitro* rendszer minden paraméterét optimalizálni, különös figyelmet fordítva a tápközeg összetételére, a hormonális egyensúlyra, az indukciós protokollra, valamint a donor növények előkezelésére. Bár a genotípus nehezen kontrollálható tényező a nemesítési programban, de a megfelelően kiválasztott és adaptált módszerrel mégis lehetőség van zöld növénykéké nagyarányú regenerációjára, és így DH törzsek hatékony előállítására. Nemesítési szempontból ez alapvetően fontos.

Kísérletünkben megvizsgáltuk a DH₂ generáció genetikai homogenitását. A vizsgált DH törzsek nagy része homogén volt. Bár a dihaploid (DH) technika kiváló lehetőséget kínált a genetikailag egységes vonalak előállítására, megfigyeléseink szerint néhány DH törzs (2–8%) inhomogenitást mutatott. Ezt a tritikálé kisebb-nagyobb idegentermékenyülési hajlamával magyarázzuk. Ezért különösen fontos, hogy a nemesítők nagy figyelmet fordítsanak a mechanikai és térbeli izoláció szigorú

betartására. A tritikálé DH-törzsek esetében az izolált szaporítás és fenntartás nem csupán ajánlott, hanem elengedhetetlen, hogy a genetikai tisztaság a fajtafenntartás során, hosszú távon biztosított legyen. Erre a kritikus tényezőre szeretnénk felhívni a figyelmet, és javasoljuk, hogy a nemesítési programok ezt kiemelt prioritásként kezeljék. A tritikálé DH előállítási módszert, saját eredményeink alapján, már a jelenlegi kidolgozottság mellett is javasoljuk rutinszerű nemesítési felhasználásra.

A tritikálé, mint tömegtakarmány - eddig a növénytermesztésnek egy kevésbé vizsgált területe volt. A tritikálé zöld tömegtakarmányról nem vagy csak igen szűk körű információ állt rendelkezésre korábban. Kísérletünkben az volt a célunk, hogy a tritikálé tömegtakarmányként történő hasznosítását megvizsgáljuk, és levonjuk a következtetéseket, hogy a növényfaj és a vizsgált fajták alkalmasak-e tömegtakarmány előállítására, illetve annak a minősége milyen takarmányértéket képvisel.

A kísérleti eredményekből következően megállapítható, hogy a vizsgált tritikálé fajták (genotípusok) 2017 – 2020 között nagy (30% szárazanyag-tartalomra korrigált) zöldhozamot adtak (18,8 t/ha – 31,6 t/ha), következésképpen jelenleg és a közeljövőben is javasolhatók tömegtakarmány termesztésre. Hozzá kell tenni, hogy ezeknek a téli félév csapadékát hatékonyan hasznosító kis vízigényű őszi vetésű kalászos gabonaféléknek a klímaváltozás várhatóan nem fogja csökkenteni a kora tavasszal (áprilisban) már betakarítható zöldhozamát.

A kísérleti eredményeink alapján megállapítottuk, hogy a korai kaszálással (BBCH 45: a kalász 4-6 cm hosszú és hasban van), kedvező táplálóanyag-tartalmi értékeket (nyersfehérje, dNDF, NDF_{d48}, NEI, aminosavak) tudunk elérni. A kaszálások eltolódásával ezen értékek csökkentek, miközben a rosszul emészthető rostfrakciók aránya nő, ami táplálóérték-csökkenést eredményez, ezért javasoljuk a viszonylag korai (BBCH 45-49) betakarítást.

A kapott eredmények alapján kijelenthető, hogy a nagy teljesítményű tejelő tehenészetek kiváló takarmánya lehet a korai szakaszban (BBCH 45-49) betakarított tritikálé, míg a később betakarított tritikálé (BBCH 58-65) inkább a kevésbé táplálóanyag-igényes hízómarha és tenyésznövendék állományok takarmánya lehet.

A gabonafélék, köztük a tritikálé is, általában lizinben és metioninban szegények, ezért ezek hiánya gyakran limitáló tényezővé válik a fehérje hasznosulás szempontjából. Mivel sem Magyarországon, sem nemzetközi viszonylatban nem találtunk a tritikálé zöldtakarmányok aminosavtartalmára vonatkozó adatokat, ez eddig alig vizsgált terület volt, ezért érdemes a terület további kutatása.

A kísérleti adatok alapján igazoltnak látszik, hogy a tritikálé vizsgált fajtái április végén, de különösen május elején hasonló terméseredményeket tudnak produkálni, mint a rozs normál termesztési viszonyok között. Szélesebb azonban a 'betakarítási ablak', tehát hosszabb idő áll rendelkezésre a betakarításra (lassabban öregszik), illetve van lehetőség a tervezett májusi kaszálásra is a minőség szinten tartása mellett. A tritikálé betakarítási optima szélesebb, hosszabb betakarítási időtartammal számolhatunk, eltolva a betakarítás kezdetét 1-2 héttel a rozshoz képest. Ez kedvezőbb időjárási feltételeket jelent a renden történő fonnyasztás szempontjából is. A területet a tritikálé lekerülése után, még abban a szezonban hasznosítani tudjuk, mivel az évjáratok nagy részében van még idő korai kukoricát, cirkot, szudáni fűvet vetni.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

A gabonanemesítésben gyakran alkalmaznak *in vitro* androgenezis alapú módszereket DH növények előállítására. A vizsgálat célja a genotípus (négy fajta és nyolc F₁ hibrid) és az indukciós tápközeg (W14mf és P4mf) hatásának meghatározása volt tritikálé *in vitro* portoktenyésztésben (*X Triticosecale* Wittmack.). Az androgenezist sikerrel indukáltuk minden vizsgált genotípus és kezelés esetében. A genotípus jelentősen befolyásolta a portoktenyésztés hatékonyságát, melyet a következő paraméterekkel mértünk: ELS, albínó- és zöld növénykéék száma.

A tápközeg szintén jelentős hatással volt az ELS, albínó- és kiültetett növénykéék számára. Két tápközeg (P4mf, W14mf) használtunk a tritikálé portoktenyésztési kísérletben. A portoktenyésztés hatékonysága nagyobb volt a P4mf tápközegben (103,7 ELS/100 portok, 19,7 zöld növényke/100 portok), mint a W14mf indukciós tápközegben (90,0 ELS/100 portok, 17,0 zöld növény/100 portok). A növényregenerálási kísérletben az ELS-ekből regenerált zöld növénykéék számában a W14mf tápközegről származó ELS-ek mutattak jobb regenerációs százalékot (18,0 %). A P4mf táptalajról származók ezzel szemben alacsonyabb regenerációs százalékot mutattak (15,9 %). A kromoszóma-kettőződés átlaga 29,28% volt a vizsgált genotípusok adatai alapján.

A DH₀ növények felnevelése és a magfogás után a DH₁ generációt is felneveltük, és molekuláris genetikai módszerrel vizsgáltuk az utódnemzedék (DH₂) genetikai homogenitását. A vizsgált DH törzsek nagy részére homogenitás volt jellemző, és az agronómiai szelekciót követően nemesítési programban használtuk fel a törzseket. Bár a dihaploid (DH) technika kiváló lehetőséget kínál a genetikailag egységes vonalak előállítására, megfigyeléseink szerint néhány DH törzs (2–8%) inhomogenitást mutatott. Ezt a tritikálé idegentermékenyülési hajlamával magyarázzuk, amely lényegesen meghaladja a búzában tapasztalt idegen beporzási százalékot. Ez a jelenség komoly kockázatot jelenthet a nemesítési és fajtafenntartási munkában, amennyiben a szaporítás nem megfelelően izolált környezetben történik.

2017-2020 között Szarvason vizsgáltuk a különböző tritikálé fajták szemtermés eredményeit, zöldhozamát, valamint annak legfontosabb táplálóanyag-tartalmi értékeit. Mindegyik parcella azonos agrotechnikában részesült.

A zöldhozam méréseket - hazánkban elsőként - a tritikálé fajták különböző fenológiai fázisában történő kaszálásával végeztük, a BBCH skálát alkalmazva. Minden évben, minden kaszálási időpontban az összes fajtából 4 darab 1 m²-es mintát vettünk. Az első kaszálás időpontja akkor volt, amikor a kalász kb. 6 cm hosszú, és még nem bújta elő (hasban van), ez a fejlettségi állapot BBCH 45 volt. A következő kaszálásokat az első követő 7 naponta végeztük. A növények fejlettsége a következő volt: második kaszálás BBCH 49 (az első toklászok megjelenése), harmadik kaszálás BBCH 58 (a kalász 80%-a kiemelkedett), negyedik kaszálás BBCH 65 (teljes virágzás idején). A betakarított zöld gabonanövényeket ezután 2-5 cm nagyságú darabokra aprítottuk, és abból mintát vettünk, amelyet az Állattenyésztési Teljesítményvizsgáló Kft. Takarmányanalitikai Laboratóriumában vizsgáltunk meg Gödöllőn. A betakarított minták szárazanyag tartalma alapján számítottuk ki egységesen a zöldhozamokat 30%-os egységes szárazanyag tartalomra korrigálva. A kísérletben a zöldhozamokon kívül megnéztük a tritikálé fajták szemtermés hozamát is. A betakarítás gabonakombájnnal, a tritikálé teljes érésének idején (BBCH 89) történt.

A 2017 – 2020 között a fajták szemtermésének termésátlagai 4,39 – 5,22 t/ha között alakultak. A fajták termésátlagai között a statisztikai vizsgálat alapján nem igazolható szignifikáns különbség. Kísérletünkben nem a tritikálé fajták szemtermés eredménye volt az elsődleges vizsgálati cél, de megállapítottuk, hogy a szemtermés eredmények teljesen megfelelnek a termőhely átlagainak, vagyis a tritikálé fajták teljesítménye megfelel a sokéves átlagnak.

A zöldhozamok vizsgálatakor megállapítottuk, hogy a fajták teljesítményét nem azonos dinamika jellemzi. Megfigyelhető volt, hogy minden vizsgált évben a betakarítási idő előrehaladtával minden fajta zöldtömege növekszik, viszont a növekedés üteme, dinamikája igen eltérő az egyes fajtáknál. Eredményeink alapján a zöldhozam erősen függ az évjáratok hatásától, nem egy-egy fajta jellemzője, a fajták között éppen ezért a vizsgált években statisztikailag is alátámasztható különbségeket a zöldhozamban nem tudtunk igazolni.

A zöldhozam táplálóanyag-tartalmi vizsgálatánál megállapíthattuk, hogy a tritikálé nyersfehérje tartalma az egyre későbbi kaszálásokkal folyamatosan és szignifikáns mértékben csökkent. A fajták átlagában az első kaszáláskor (BBCH 45) mért 165,75 g/kg sz.a nyersfehérje tartalom a negyedik kaszálás (BBCH 65) idejére 101,82 g/kg sz.a értékre csökkent. Nem csak a kaszálások, hanem a fajták között is volt szignifikáns különbség a fehérje tartalomban, a „GK Szemes” fajta nyersfehérjetartalma átlagosan mindösszesen 111,338 g/kg sz.a volt, a többi fajta 123,325 – 128,288 g/kg sz.a értékéhez képest.

A zöldhozam minőségének másik jellemzője a nyersrost- és NDF-tartalom, melynek mind a mennyiségi, mind pedig a hasznosíthatóságot alapvetően befolyásoló minőségi változásait is nyomon követtük a vizsgálat során. A kísérletben a legmagasabb nyersrost tartalmat a négy év 16 kaszálási időpontja közül 11 alkalommal a „GK Szemes” érte el, amely szerényebb nyersfehérje tartalommal is párosult, így elmondható, hogy a „GK Szemes” fajta zöldtakarmány értéke gyengébb. A fajták nyersrost tartalma az első kaszálás (BBCH 45) alkalmával statisztikailag igazolhatóan alacsonyabb volt (238,375 g/kg sz.a), ami egészen a harmadik kaszálásig (BBCH 58) növekedett (288,625 g/kg sz.a), amely szignifikáns mértékben magasabb volt, a többi időpontban mért nyersrost tartalomnál.

A dNDF értékekben statisztikailag igazolható különbségeket a különböző kaszálási időpontokban találtunk. Igazolható volt, hogy a növény öregedésével a dNDF tartalom csökken, az utolsó, 4. kaszálási időpontban (BBCH 65) minden más időpontban mért értéktől szignifikánsan alacsonyabb dNDF tartalmat mértünk. A tritikálé nyersrost- és NDF-tartalma a növény öregedésével folyamatosan nő, de annak jó minőségű, emészthető rosttartalma folyamatosan csökken. A kísérletben az első kaszáláskor (BBCH 45) mért 373,585 g/kg sz.a dNDF érték az utolsó kaszálási időpontra (BBCH 65) 311,417 g/kg sz.a értékre csökkent.

Figyelemmel kísértük az NDF_{d48} értéket, amely megmutatja a 48 óra alatt a bendőben emészthető rosttartalom nagyságát százalékos értékben. Ez a mutató kiválóan mutatja, hogy a tritikálé zöldhozamban lévő rosttartalom mennyire képes hasznosulni, az mekkora arányban jelent a takarmányozás során értékes tápanyagot, vagy csak ballaszt anyagként tölti ki az állat bendőjét. Az első kaszálás alkalmával (BBCH 45) mértük a legjobb NDF_{d48} értéket (67,4 – 73,2 %), amely a későbbi

kaszálások alkalmával folyamatosan csökkent. A negyedik kaszálás alkalmával (BBCH 65) mértük a legrosszabb NDFd₄₈ értéket (52,4 – 60,1 %), mely szignifikáns mértékű csökkenést jelentett minden kaszálási időpontban. A vizsgálat során két fajta NDFd₄₈ értéke különbözött szignifikánsan. Elsőként a „GK Maros” emelhető ki, amelyiknek a legnagyobb volt a rostemészthetősége az összes fajta között. A másik szignifikáns értéket a „GK Szemes” esetében mértük, amely az összes év és betakarítás átlagában is, igazolhatóan a legalacsonyabb rostemészthetőséggel rendelkezett.

Az eredményeink alapján megállapítottuk, hogy az első két kaszálás (BBCH 45-49) során volt szignifikánsan magasabb nettó laktációs energiatartalma a tritikálé zöldhozamoknak, amely az első két kaszálás során a zöldhozamban lévő nagy mennyiségű emészthető rosttartalomnak is köszönhető. Az előregedő és egyre rosszabbul emészthető rostfrakciójú tritikálé zöldhozamok NEI- és aminosavtartalma is elmarad a korábban betakarított hozamoktól. A tritikálé zöldhozamának aminosav összetételére – különösen a lizin- és metionin-tartalomra – sem hazai, sem nemzetközi szinten nem állnak rendelkezésre publikált adatok, ezért jelen munkában közölt eredmények újszerű tudományos hozzájárulást képviselnek.

Több év kísérleti adatainak feldolgozása alapján megállapítottuk, hogy a növények öregedésével a tritikálé fajták rostemészthetősége, nyersfehérje-, energia- és aminosavtartalma csökken, miközben a rosszul emészthető rostfrakciók aránya nő, ami táplálóérték-csökkenést eredményez.

Eredményeink jól mutatják, hogy jelentős különbségek lehetnek a tritikálé fajták között zöldtakarmány értékben. A komplex elemzésünk alapján megállapítható, hogy a vizsgált magyar nemesítésű tritikálé fajták a nagy hozamú tehenészetek takarmányozási célú felhasználására a korai betakarítást, az első kaszálást javasoljuk. Több paraméter együttes vizsgálata alapján a legrosszabb minőségi paraméterekkel a „GK Szemes” tritikálé fajta, míg kedvező minőségi paramétereket a „GK Maros” és a „Dimenzio” fajták érték el.

SUMMARY

In cereal breeding, *in vitro* androgenesis-based methods are frequently used for the production of doubled haploid (DH) plants. The aim of the present study was to determine the effect of genotype (four varieties and eight F1 hybrids) and induction medium (W14mf and P4mf) in triticale ($\times$ *Triticosecale* Wittmack) anther culture. Androgenesis was successfully induced in all examined genotypes and treatments. The efficiency of anther culture was significantly influenced by genotype, which was evaluated based on the following parameters: number of ELSs, albino plantlets, and green plantlets.

The induction medium also had a significant effect on the number of ELSs, albino plantlets, and transplanted plantlets. Two media (P4mf and W14mf) were used in the triticale anther culture experiments. The efficiency of anther culture was higher on the P4mf medium (103.7 ELS/100 anthers, 19.7 green plantlets/100 anthers) compared with the W14mf induction medium (90.0 ELS/100 anthers, 17.0 green plantlets/100 anthers). In the plant regeneration phase, ELSs derived from the W14mf medium showed a higher regeneration percentage of green plantlets (18.0%), whereas those obtained from the P4mf medium exhibited a lower regeneration percentage (15.9%). The average rate of chromosome doubling was 29.28% based on the data of the tested genotypes.

After growing the DH₀ plants and obtaining seeds, the DH₁ generation was raised, and the genetic homogeneity of the subsequent DH₂ progeny was assessed using molecular genetic methods. Most of the examined DH lines were characterized by homogeneity, and following agronomic selection, they were integrated into the breeding program. Although the doubled haploid (DH) technique provides an excellent opportunity for producing genetically uniform lines, our observations revealed that a small proportion of DH lines (2–8%) exhibited heterogeneity. We attribute this to the exceptionally high outcrossing tendency of triticale, which considerably exceeds the outcrossing rates observed in wheat. This phenomenon may pose a serious risk during breeding and variety maintenance processes if propagation is not carried out under properly isolated conditions.

Between 2017 and 2020, we evaluated the grain yield performance, green biomass production, and key nutritional parameters of different triticale varieties in field trials conducted at Szarvas, Hungary. All plots were managed under identical agronomic practices.

Green biomass measurements – carried out for the first time in Hungary – were performed by harvesting triticale varieties at different phenological stages, using the BBCH scale. Each year, at every harvest date, four 1 m² samples were taken from each variety. The first harvest was conducted when the spike was approximately 6 cm long and had not yet emerged (“booting stage”), corresponding to BBCH 45. Subsequent harvests were performed at 7-day intervals. The developmental stages were as follows: second harvest at BBCH 49 (first awns visible), third harvest at BBCH 58 (80% of spikes emerged), and fourth harvest at BBCH 65 (full flowering). The harvested green biomass was chopped into 2–5 cm pieces, and subsamples were collected and analyzed at the Feed Analysis Laboratory of the Animal Breeding Performance Testing Ltd. in Gödöllő. Based on the dry matter content of the harvested samples, green biomass yields were uniformly corrected to a standardized dry matter content of 30%. In addition to green biomass, we also evaluated the grain yield of the triticale varieties. Harvesting was carried out using a combine harvester at full maturity (BBCH 89).

Between 2017 and 2020, the average grain yields of the triticale varieties ranged from 4.39 to 5.22 t/ha. Statistical analysis did not confirm significant differences among the yield averages of the varieties. Although grain yield was not the primary focus of our experiment, we established that the results were fully consistent with the site averages, indicating that the performance of the triticale varieties corresponded to the long-term regional mean.

In the evaluation of green biomass yields, we found that the varieties did not follow the same growth dynamics. In every year of the study, the green biomass increased with the progression of the harvest dates; however, the rate and pattern of this increase varied considerably among the varieties. Our results indicate that green yield is strongly influenced by the growing season rather than being a consistent varietal characteristic. Consequently, statistically verifiable differences in green biomass among the varieties could not be confirmed during the study years.

In the evaluation of the nutritive value of green biomass, it was observed that the crude protein content of triticale decreased continuously and significantly with successive harvests. On average across varieties, the crude protein content measured at the first harvest (BBCH 45) was 165.75 g/kg DM, which declined to 101.82 g/kg DM by the fourth harvest (BBCH 65). Significant differences were also found among varieties: the crude protein content of the variety ‘GK Szemes’ averaged only 111.34 g/kg DM, compared to 123.33–128.29 g/kg DM for the other varieties.

Another important indicator of green biomass quality is the crude fiber and NDF content, both of which were monitored in terms of quantitative levels and qualitative changes affecting digestibility. In the experiment, the highest crude fiber concentration across the four years and 16 harvest dates was recorded 11 times in the variety „GK Szemes”, which was also associated with a lower crude protein content. Thus, it can be concluded that the forage value of „GK Szemes” is weaker. The crude fiber content of the varieties was significantly lower at the first harvest (BBCH 45; 238.38 g/kg DM), and it increased up to the third harvest (BBCH 58; 288.63 g/kg DM), where it reached a significantly higher level compared to the other sampling dates.

Statistically significant differences in dNDF content were observed across the different harvest dates. It was clearly demonstrated that with plant maturation, the dNDF content decreased, with the last (4th) harvest (BBCH 65) showing significantly lower values compared to all other sampling times. While the crude fiber and NDF content of triticale continuously increased with advancing maturity, the proportion of digestible fiber steadily declined. In the experiment, the dNDF value measured at the first harvest (BBCH 45; 373.59 g/kg DM) decreased to 311.42 g/kg DM by the final harvest (BBCH 65).

We monitored the NDFd₄₈ parameter, which expresses the proportion of fiber digestible in the rumen within 48 hours, given as a percentage. This indicator reliably demonstrates how effectively the fiber fraction of triticale green biomass can be utilized in ruminant nutrition—whether it contributes valuable nutrients or primarily acts as indigestible bulk in the rumen. The highest NDFd₄₈ values were measured at the first harvest (BBCH 45; 67.4–73.2%), after which a continuous decline was observed with advancing plant maturity. By the fourth harvest (BBCH 65), the lowest NDFd₄₈ values were recorded (52.4–60.1%), representing a statistically significant

decrease across all sampling dates. Among the tested varieties, significant differences in NDFd₄₈ were found. „GK Maros” consistently showed the highest fiber digestibility, while „GK Szemes” exhibited the lowest NDFd₄₈ values on average across all years and harvest times, confirming its inferior digestibility performance.

Based on our results, we found that the net energy for lactation (NEI) of triticale green biomass was significantly higher during the first two harvests (BBCH 45–49). This can be attributed largely to the high proportion of digestible fiber present at these early stages. In contrast, as the crop matured and the fiber fraction became less digestible, both the NEI and the amino acid content of the biomass declined compared to earlier harvests. To date, no published data are available at either the national or international level regarding the amino acid composition of triticale green biomass - particularly its lysine and methionine content. Therefore, the results presented in this study represent a novel scientific contribution to the field.

Based on the evaluation of several years of experimental data, we established that with plant maturation the fiber digestibility, crude protein, and amino acid content of triticale varieties decrease, while the proportion of poorly digestible fiber fractions increases, resulting in a decline in overall nutritive value.

This clearly demonstrates that substantial differences may exist among triticale varieties in terms of their forage value. Based on our comprehensive analysis, we concluded that for high-yielding dairy farms, early harvest - specifically the first cutting - is recommended for the examined Hungarian-bred triticale varieties. When considering multiple parameters together, the variety „GK Szemes” showed the poorest forage quality traits, whereas the varieties „GK Maros” and „Dimenzio” were characterized by more favorable quality attributes.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönettel tartozom témavezetőimnek, Prof. Dr. Pauk Jánosnak, az MTA doktorának és Dr. Futó Zoltánnak a folyamatos szakmai és emberi támogatásukért, akik hasznos tanácsokkal láttak el, aktívan segítettek a munkámat a helyszínek és technikák biztosításán túl a publikációk és az értekezés megírásában.

Köszönöm a Gabonakutató Nonprofit Közhasznú Kft. egykori igazgatójának, Dr. Bóna Lajosnak, hogy engedélyezte munkám a Gabonakutatóban és a kért tritikálé genotípusokat a kísérlethez biztosította. Külön köszönöm Dr. Lantos Csabának, az MTA doktorának és egykori munkatársainak (Markó Ferenc, Vajasdi-Nagy Sándor, Palaticki Szilvia és még az itt fel nem soroltak) a sok éves segítőkész munkájukat, akik nélkül az eredmények nem születhettek volna meg.

Köszönetet nyilvánítok a MATE Molekuláris Genetika és Nemesítés csoport tagjainak (Prof. Dr. Kiss Erzsébetnek és munkatársainak) a homogenitás vizsgálat kivitelezésében és adatainak kiértékelésében nyújtott segítségükért.

Külön köszönet illeti meg a volt munkatársaimat, a Mezőmag Kft. ügyvezető tulajdonosát, Gazsó Jánost és főagronómusát, Kovács Csabát, a négy éven át történő zöldhozam kísérletekhez biztosított helyszínért és precíz agrotechnikáért.

Köszönettel tartozom házi védésem opponenseinek, Prof. Dr. Matuz Jánosnak és Dr. Lantos Csabának, az MTA doktorainak bírálatukban adott kritikai véleményükért és a sok javítási javaslatukért. Sokat segítettek dolgozatom végleges tartalmi és formai elkészítésében.

Köszönöm édesapámnak, Prof. Dr. Kruppa Józsefnek, nővéremnek, Dr. Kruppa Klaudiának, menyasszonyomnak és az egész Családomnak hatalmas türelmüket, szeretetüket, bátorításukat, támogatásukat.

IRODALOMJEGYZÉK

1. **Arieli, A., Adin, G. (1994):** Effect of wheat silage maturity on digestion and milk yield in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 77, 237–243.
2. **Arzani, A., Darvey, N.L. (2001):** The effect of colchicine on triticales anther-derived plants: microspore pre-treatment and haploid-plant treatment using a hydroponic system. *Euphytica* 122, 235–241.
3. **Asif, M., Eudes, F., Randhawa, H., Amundsen, E., Spaner, D. (2014):** Phytosulfokine alpha enhances microspore embryogenesis in both triticales and wheat. *Plant Cell Tissue Organ Cult.* 2014, 116, 125-130.
4. **Áy, Z., Molnár, S., Szendrei, Z., Megyeri, M., Mikó, P., Fónad, P., Purgel, Sz., Mihály, R., Palágyi, A., Bóna, L. (2015):** Új irányvonal a kalászosok nemesítésében: szelekció a teljes zöld növény fehérjetartalmára – félüzemi kísérletek biogazdálkodásban.
In: Veisz, O. (szerk.): *XXI. Növénynemesítési Tudományos Napok*, MTA ATK, Martonvásár, p. 35.
5. **Bednarek, P.T., Orłowska, R., Mankowski, D.R., Zimny, J., Kowalczyk, K., Nowak, M., Zebrowski, J. (2022):** Glutathione and copper ions as critical factors of green plant regeneration efficiency of triticales in vitro anther culture. *Front. Plant Sci.* 13, 926305.
6. **Bedő, Z., Láng, L. (1992):** A lengyel triticales fajták honosítása Magyarországon. In: *Rozs és triticales termesztése*. Keszthely. 22-24 p.
7. **Bernard, M., Bernard, S., Bonhomme, H., Faurie, C., Gay, G., Jestin, L. (1996):** Triticales research and breeding programmes in France: recent developments.
In Guedes-Pinto, H., Darvey, N., & Carnide, V. P. (Eds.): *Triticales: Today and Tomorrow*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 643–647.
8. **Bóna, L., Purgel, Sz., Mihály-Langó, B., Mihály, R. (2024):** Kettős hasznosítás célú nemesítés tritikáléban. In: Vida, G. (szerk.): *Hagyomány és megújulás – XXX. Növénynemesítési Tudományos Napok*, HUN-REN ATK, Martonvásár, p. 84.
9. **Braunwart, K., Putnam, D., Fohner, G. (2001):** Alternative annual forages – now and in the future. In: *Proceedings of the 31st California Alfalfa and Forage Symposium, University of California, Davis*, pp. 213–226.
10. **Brzozowski, L.J., Szuleta, E., Phillips, T.D., Van Sanford, D.A., Clark, A.J. (2023):** Breeding cereal rye (*Secale cereale*) for quality traits. *Crop Science*, 63(2), 385–400. <https://doi.org/10.1002/csc2.21022>
11. **Chege, P., Kiss, E., Lantos, C., Palágyi, A., Pauk, J. (2021):** Doubled haploid production using an improved anther culture protocol for sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Phyton – International Journal of*

Experimental Botany. 90, 475-487. <https://doi.org/10.32604/phyton.2021.013557>

12. **Chien, Y.C., Kao, K.N. (1983):** Effects of osmolality, cytokinin and organic acid on pollen callus formation in triticales anthers. *Canadian Journal of Botany*, 61, 639–641. <https://doi.org/10.1139/b83-072>
13. **Coblentz, W. K., Ottman, M.J. (2022):** Effects of harvest date and growth stage on triticales forages in the southwest USA: kinetics of in vitro disappearance of fiber and dry matter. *Journal of Animal Science*, 100(3): skac020. DOI: 10.1093/jas/skac020
14. **Cui, L., Xu, L., Wang, H., Fan, X., Yan, C., Zhang, Y., Jiang, C., Zhou, T., Guo, Q., Sun, Y., Yang, F., Li, H. (2025):** Evaluation of dual-purpose triticales: grain and forage productivity and quality under semi-arid conditions. *Agronomy*, 15(4), 881. <https://doi.org/10.3390/agronomy15040881>
15. **Delogu, G., Faccini, N., Faccioli, P., Reggiani, F., Lendini, M., Berardo, N., Odoardi, M. (2002):** Dry matter yield and quality evaluation at two phenological stages of forage *triticales* grown in the Po Valley and Sardinia, Italy. *Field Crops Res*, 74(2–3), 207–215. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(02\)00002-3](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(02)00002-3)
16. **De Zutter, A., Landschoot, S., Vermeir, P., Van Waes, C., Muylle, H., Roldán-Ruiz, I., Doudah, L., De Boever, J., Haesaert, G. (2023):** Variation in potential feeding value of triticales forage among plant fraction, maturity stage, growing season and genotype. *Heliyon*, 9(1): e12760. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12760>
17. **Dunwell, J.M. (2010):** Haploids in flowering plants: origins and exploitation. *Plant Biotechnol. J.* 8, 377–424. DOI: 10.1111/j.1467-7652.2009.00498.x
18. **Eudes, F., Amundsen, E. (2005):** Isolated microspore culture of Canadian 6X triticales cultivars. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 82, 233–241. DOI:10.1007/s11240-005-0867-9
19. **Goeser, J.P., Hoffman, P.C., Combs, D.K. (2009):** Modification of a rumen fluid priming technique for measuring in vitro neutral detergent fiber digestibility. *Journal of Dairy Science*, 92(8), 3833–3841.
20. **Gonzalez, M., Hernandez, I., Jouve, N. (1997):** Analysis of anther culture response in hexaploid triticales. *Plant Breeding*, 116, 302–304.
21. **Gonzalez, J.M., Muniz, L.M., Jouve, N. (2005):** Mapping of QTLs for androgenetic response based on a molecular genetic map of *X Triticosecale* Wittmack. *Genome*. 48, 999–1009.
22. **Győri, Z., Kruppa, J., Ungai, D., Győriné Mile, I., Sipos, P. (2009):** Examination of technological and nutritional properties of breads made from

triticale flour. In: *5th International Congress Flour-Bread '09*. Opatija, Horvátország, 2009.10.21-23. Osijek: pp. 503-507.

23. **Hackauf, B., Wehling, P. (2001):** „Identification of microsatellite polymorphisms in an expressed portion of the rye genome.” *Plant Breeding* 121, 17-25.
24. **Haesaert, G., Derycke, V., Latré, J., Debersaque, F., D’hooghe, K., Coomans, D., Rombouts, G. (2002):** A study on triticale ($\times$ Triticosecale Wittmack) for whole plant silage in Belgium. In: Arseniuk, E.; Osiński, R. (szerk.): *5th International Triticale Symposium*, Radzików, Poland, 261–269.
25. **Hameleers, A. (1998):** The effects of the inclusion of either maize silage, fermented whole crop wheat or urea-treated whole crop wheat in a diet based on a high-quality grass silage on the performance of dairy cows, *Grass Forage Science*, 53, 157-163.
26. **Harper, M.T., Oh, J., Giallongo, F., Roth, G.W., Hristov, A.N. (2017):** Inclusion of wheat and triticale silage in the diet of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100(8), 6151–6163.
27. **Hassawi, D.S., Qi, J., Liang, G.H. (1990):** Effects of growth regulator and genotype on production of wheat and triticale polyhaploids from anther culture. *Plant Breed.* 104, 40–45.
28. **Hills, M.J., Hall, L.M., Messenger, D.F., Graf, R.J., Beres, B.L., Eudes, F. (2008):** Evaluation of crossability between triticale ($\times$ Triticosecale Wittmack) and common wheat, durum wheat and rye. *Environmental Biosafety Research*, 7(4): 145–153.
29. **Hoffmann, B., Galiba, G., Kruppa, J. (1998):** A takarékos (low input) növénytermesztés biológiai alapjainak vizsgálata. In: Georgikon napok Keszthely. Növénytermesztés, agrokémia, növényvédelem, környezetvédelem. II. 181-185 p.
30. **Hoffmann, B., Galiba, G., Kruppa, J. (1999):** Takarékos (low input) genotípusok szelekciós lehetőségei. In: Ruzsányi L. – Pepó Pé.: Növénytermesztési Tudományos Nap . *Növénytermesztés-környezetvédelem*. MTA, Budapest. 55.
31. **Hoffmann, B., Kruppa, J., Józsa, S. (2001):** Adaptation of cereales to water deficiency. *37th croatian symposium on agriculture*. Opatija, 10.
32. **Hoffmann, B., Lángné Molnár, M., Kruppa, J., Sarkadi, L. (2002):** Régi és újabb nemesítésű gabona fajták stressztűrése. *VIII. Növénytermesztési Tudományos Napok*. MTA, Budapest, 2002. február 12-13. p. 92.
33. **Hoffmann, R., Orosz, Sz., Kruppa, J., Iván, F., Piszterné Fülöp, É. (2016a):** A korai betakarítású tritikálé rostprofilja: a 'betakarítási ablak' jelentősége. *Állattenyésztési Teljesítményvizsgáló Kft. Partnertájékoztató Hírlevél*. ISSN HU-2063-3491 XVI.(7) 22-26.

34. **Hoffmann, R., Orosz, Sz., Kruppa, J., Iván, F., Piskerné Fülöp, É. (2016b):** Az 'egyfunkciós' és a 'többfunkciós' korai betakarítású gabonafélékben rejlő lehetőség: a rozs és a tritikálé. *Állattenyésztési Teljesítményvizsgáló Kft. Partnertájékoztató Hírlevél*. ISSN HU-2063-3491 XVI.(6) 22-25.
35. **ifj. Kruppa, J., Kruppa, K., Kruppa, J. (2014):** Étkezési tritikálé ('Hungaro' Durumrozs) aminosav tartalma és genomösszetétele. In.: Veisz O. (Szerk.): *Növénynevelés a megújuló mezőgazdaságban. XX. Növénynevelési Tudományos Nap*. Budapest, 264-268.
36. **ifj. Kruppa, J., Kruppa, K., Kruppa, J. (2017):** Rekombinációs szekunder hexaploid triticales nevelése, genomösszetétele és minősége. *Acta Agronomica Óváriensis*. 58.1, 73-84.
37. **ifj. Kruppa, J., Osama, Z. K., Tóth-Lencsés, K. A., Kiss, E., Bóna, L., Lantos, C., Pauk, J. (2023):** Induction of triticales in vitro androgenesis in anther culture and homogeneity test of offspring generation. In: *Life* (ISSN 2075-1729) <https://doi.org/10.3390/life13101970>
38. **ifj. Kruppa, J., Orosz, Sz., Bencze, G., Kruppa, J., Kruppa, K., Lantos, C., Bóna, L., Futó, Z. (2025):** The green yield for silage and its quality in the feed value of triticales varieties. In: *Cereals Research Communication*, <https://doi.org/10.1007/s42976-025-00650-7>
39. **Immonen, S., Robinson, J. (2000):** Stress treatments and ficoll for improving green plant regeneration in triticales anther culture. *Plant Sci.* 150, 77-84.
40. **Islam, S.M.S., Tuteja, N. (2012):** Enhancement of androgenesis by abiotic stress and other pretreatments in major crop species, *Plant Sci.* 182, 134-144.
41. **Iván, F., Kruppa, J. (2015):** Rozs szenázs – a kiváló tömegtakarmány. *Agrár Hírnök*, II. évf. 3. sz. 8-10.
42. **Kiss, Á. (1968):** Triticales, a homok új gabonája. *Mezőgazdasági Kiadó*, Budapest.
43. **Karsai, I., Bedő, Z., Hayes, P.M. (1994):** Effect of induction medium, pH and maltose concentration on in vitro androgenesis of hexaploid winter triticales and wheat. *Plant Cell Tissue Organ Cult.* 39, 49-53.
44. **Khorasani, G. R., Juskiw, P., Helm, J. H., Kennelli, J. J. (1997):** Influence of stage of maturity on yield components and chemical composition of cereal grain silages, *The Canadian veterinary journal. La revue vétérinaire canadienne* 77(2):259-267. DOI:10.4141/A96-034
45. **Kruppa, J. (1995):** Rozstermesztés. In: *Kalászos Gabonafélék termesztése*. Gödöllő, pp. 147-153.
46. **Kruppa, J. (2015):** Rozs és tritikálé termesztés és felhasználás másképpen. *Agrár Hírnök*, II. évf. 5. sz. 10-11.

47. **Kruppa, J. (2016):** A magyar növénynevelés helyzete és eredményei a magánszektorban. In: Veisz, O.-Polgár, Zs.: *XXII. Növénynevelési Tudományos Nap*. MTA, Budapest. pp. 19-23.
48. **Kruppa, J., Ivan, F. (2016):** Ryefood rozs szilázs – a logikus döntés, Hungaro tritikale szilázs – az új nagy lehetőség! www.agronaplo.hu/termekinformaciok/ryefood-rozs-szilazs-a-logikus-dontes-hungaro-tritikale-szilazs-az-uj-nagy-lehetoseg
49. **Kruppa, J., Futó Z., ifj. Kruppa, J., Bencze G. (2018a):** A Kruppa-Mag Kutató kft. fajtái a szilázs előállításban. *IV. Országos Tritikálé Nap, Fókuszban újra a tritikálé zöldhasznosítása*, Konferencia kiadvány, Gödöllő: Szent István Egyetemi Kiadó, pp. 4-12. ISBN: 978-963-269-807-6 (ON-LINE), ISBN 978-963-269-806-9 (PRINTED)
50. **Kruppa, J., Hoffmann, B. (2006):** Új étkezési és takarmány tritikálé (*Triticum turgidocereale*) és rozs (*Secale cereale*) fajták . - In: Mag, kutatás, fejlesztés és környezet, ISSN 1588-4864 , 2006. (20. évf.), 4. sz., 43-45 p.
51. **Kruppa, J., Hoffmann, R., Orosz, Sz., Futó, Z., Iván, F., Piskerné Fülöp, É., Bencze, G., ifj. Kruppa, J. (2018b):** Kis vízigényű új hasznosítási lehetőségek a rozs és tritikálé termesztésében. In: *Alkalmazkodó vízgazdálkodás: lehetőségek és kockázatok*, Nemzetközi konferencia, Szarvas, 2018. március 22.
52. **Kruppa J., Hoffmann R., Orosz Sz., Futó Z., Piskerné Fülöp É., Bencze G., Karácsony Szőcs E. (2017):** A tritikálé öregedési modellje Állattenyésztési Teljesítményvizsgáló Kft. *Partnertájékoztató Hírlevél*. ISSN HU-2063-3491 XVII.(6), 25-29.
53. **Kruppa, J., ifj. Kruppa, J. (2011a):** Új eredmények a tritikálénevelésben és hasznosításban. *Mag Arany Évkönyv* 2011. 106-109. p.
54. **Kruppa, J., ifj. Kruppa, J. (2011b):** Új eredmények a tritikálé nevelésben, hasznosításban. *Agrár-Innovációs Hírlevél*. Kiadó: Primom Alapítvány. 4-5. p.
55. **Kruppa, J., ifj. Kruppa, J. (2012):** A rozs és tritikálé termesztési lehetőségeiről. *Agrárágazat*, (13. évf.) 9. sz. p. 54-56.
56. **Kruppa, J., ifj. Kruppa, J. (2022):** Tritikálé. In: Izsáki, Z. - Kruppa, J. (szerk.) *Szántóföldi növények vetőmagtermesztése 2.: Tritikálé*, p. 117-119.
57. **Kruppa, J., ifj. Kruppa, J., Kruppa, K. (2024):** Versenyképes rozs és tritikálé nevelés, hasznosítás. *Agrofórum Extra*, 2024. (35. évf.) 104. sz. 110-113. old.
58. **Kruppa, J., Pauk, J. (2022):** Tritikálé. In: Izsáki, Z. - Kruppa, J. (szerk.) *Szántóföldi növények vetőmagtermesztése 1.: A vetőmagtermesztés növénynevelési, genetikai, biotechnológiai alapjai és a nevelés, fajtafenntartás módszerei*, p. 256-262.

59. **Krzewska, M., Czyczyło-Mysza, I., Dubas, E., Golebiowska-Pikana, G., Golemić E., Stojalowski, S., Chrupek, M., Zur, I. (2012):** Quantitative trait loci associated with androgenic responsiveness in triticale (*X Triticosecale* Wittm.) anther culture. *Plant Cell Rep.* 31, 2099–2108 p.
60. **Kuleung, C., Baenziger, P. S., Dweikat, I. (2004):** „Transferability of SSR markers among wheat, rye, and triticale.” *Theor Appl Genet* 108, 1147–1150 p.
61. **Lagunovskaya A. V., Buracova A. A., Bushtevich V. N., Sakovich V. I., Lemesh V. A., Gryb S. I. (2020):** Analysis of the intralinear polymorphism and the homozygosity rate of triticale doubled haploid lines by microsatellite markers. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, vol. 64, no. 2, pp. 199–208 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2020-64-2-199-208>
62. **Lantos, C., Jancsó, M., Pauk, J. (2005):** Microspore culture of small grain cereals. *Acta Physiol. Plant.* 27, 523–531 p.
63. **Lantos, C., Weyen, J., Orsini, J.M., Gnad, H., Schlieter, B., Lein, V., Kontowski, S., Jacobi, A., Mihaly, R., Broughton, S., Pauk, J. (2013):** Efficient application of *in vitro* anther culture for different European winter wheat (*Triticum aestivum* L.) breeding programs. *Plant Breed.* 132, 149–154 p.
64. **Lantos, C., Bona, L., Boda, K., Pauk, J. (2014):** Comparative analyses of *in vitro* anther- and isolated microspore culture in hexaploid triticale (*X Triticosecale* Wittmack) for androgenic parameters. *Euphytica* 197, 27–37 p.
65. **Lantos, C., Pauk, J. (2016):** Anther culture as an effective tool in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) breeding. *Rus. J. Genet.* 52, 794–801 p.
66. **Lantos, C., Purgel S., Acs, K., Lango B., Bona L., Boda, K., Bekes, F., Pauk J. (2019):** Utilization of *in vitro* anther culture in spelt wheat breeding. *Plants* 8, 436 p.
67. **Lantos, C., Lehoczki-Krsjak S., Pauk J. (2022):** Induction of *in vitro* androgenesis in anther culture of recalcitrant einkorn (*Triticum monococcum* L.). *Plant Cell Tissue Organ Cult.* 150, 417–426 p.
68. **Longin, C. F. H., Mi, X. F., Melchinger, A. E., Reif J. C., Wuerschum, T. (2014):** Optimum allocation of test resources and comparison of breeding strategies for hybrid wheat. *Theor. Appl. Genet.* 127, 2117–2126. p.
69. **Lukács, J., Futó, Z. (2018):** A tritikálé termesztés biológiai alapjai vetőmag és fajta helyzet. IV. Országos Tritikálé Nap, „Fókuszban újra a tritikálé zöldhasznosítása”, Konferencia kiadvány, Szent István Egyetemi Kiadó, Gödöllő; p. 4–12. ISBN: 978-963-269-807-6 (ON-LINE), ISBN 978-963-269-806-9 (PRINTED)
70. **Maheshwari, P., Laurie J. D. (2021):** Triticale isolated microspore culture for doubled haploid production. In: *Doubled Haploid Technology, Methods*

in Molecular Biology; Seguí-Simarro J. M., Ed.; Humana, New York, NY, 2021; Vol 1, 295-312 p.

71. **Marciniak, K., Kaczmarek, Z., Adamski, T., Surma, M. (2003):** The anther-culture response of triticales line 9 tester progenies. *Cell Mol. Biol. Lett.* 8, 343–351 p.
72. **Márton, L. (2015):** Klímaváltozás: csapadék változékonyság és az NPK-műtrágyázás hatása a kukorica (*Zea mays* L.) termésére 1969 és 2013 között. *Növénytermelés.* 64. 2: 49-72.
73. **Mertens, D. R. (1997):** Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 80(7), 1463–1481. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76075-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76075-2)
74. **Mozgova, G.V., Zaitseva, O.I., Lemesh, V.A. (2012):** Structural changes in chloroplast genome accompanying albinism in anther culture of wheat and triticales. *Cer. Res. Commun.* 40, 467–475 p.
75. **Nagy, E., Szabo-Hever, A., Lehoczki-Krsjak, S., Lantos, C., Kiss, E., Pauk, J. (2022):** Detection of drought tolerance-related QTL in Plainsman V./Cappelle Desprez doubled haploid wheat population. *Cer. Res. Commun.* 50, 689-698 p.
76. **Najafi, S., Ulker, M., Oral, E., et al. (2022):** Estimation of Nuclear DNA Content in Some *Aegilops* Species: Best Analyzed Using Flow Cytometry. *Genes*, 13(11), 1980. <https://doi.org/10.3390/genes13111980>
77. **Niazian, M., Shariatpanahi, M. E. (2020):** In vitro – based doubled haploid production: recent improvements. *Euphytica* 216, 69
78. **Oba, M., Allen, M.S. (1999):** Evaluation of the importance of the digestibility of neutral detergent fiber from forage: effects on dry matter intake and milk yield of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 82(3): 589–596. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75271-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75271-9)
79. **Oleszczuk, S., Sowa, S., Zimny, J. (2004):** Direct embryogenesis and green plant regeneration from isolated microspores of hexaploid triticales (*X Triticosecale* Wittmack) cv. Bogo. *Plant Cell Rep.* 22, 885–893 p.
80. **Oleszczuk, S., Rabiza-Swider, J., Zimny, J., Lukaszewski, A.J. (2011):** Aneuploidy among androgenic progeny of hexaploid triticales (*X Triticosecale* Wittmack). *Plant Cell Rep.* 30, 575–586 p.
81. **Oleszczuk, S., Lukaszewsky, A.J. (2014):** The origin of unusual chromosome constitutions among newly formed allopolyploids. *Am. J. Bot.* 101, 318–326 p.
82. **Orłowska, R. (2022):** Triticales doubled haploid plant regeneration factors linked by structural equation modelling. *J. Appl. Genet.* 63, 677–690 p.
83. **Orłowska, R., Zebrowski, J., Dynkowska, W. M., Androsiuk, P., Bednarek, P. T. (2023):** Metabolomic changes as key factors of green plant regeneration efficiency of triticales in vitro anther culture. *Cells* 12, 163 p.

84. **Orosz, Sz. (2017a):** Fókuszban a tritikálé tömegtakarmányként való hasznosítása. Agrárágazat. Mezőgazdasági Havi Lap. HU ISSN 1586-3832 XVIII. 2017. július Kalászos Különszám 30., p. 31.
85. **Orosz, Sz. (2017b):** III. Országos Tritikále Nap. Szarvas. Fókuszban: a tritikálé tömegtakarmányként való hasznosítása. Állattenyésztési Teljesítményvizsgáló Kft. Partnertájékoztató Hírlevél. ISSN HU-2063-3491 XVII.(5) 30-32. p.
86. **Orosz, Sz., Hoffmann, R. (2013):** A rozs hozamának és tápláléértékének változása a fenológiai fázis előrehaladtával. Állattenyésztési Teljesítményvizsgáló Kft. Partnertájékoztató Hírlevél. ISSN HU-2063-3491 XIII. Szakmai cikkek Összefoglaló p. 26-28.
87. **Orosz, Sz., Horváthné Kovács, B., Hoffmann, R. (2014):** Effect of 7-14 days delay in cutonyield and nutritive value of whole crop rye during the April-May harvest period. Proc. of the XVIth International Conference of Forage Conservation, Czech Republic, Brno June 3-6. p. 153-154.
88. **Orosz, Sz., Horváthné Kovács, B., Kruppa, J., ifj. Kruppa, J., Iván, F., Hoffmann, R. (2017):** Húshasznú tehenek, növendék - és hízó marhák hazai tömegtakarmány-ellátása a klímaváltozás tükrében = Forage supply of beef cattle (cows, replacement and finishing cattle) in the mirror of climate change in Hungary. *Állattenyésztés és takarmányozás*. (66. évf.) 4. sz. p. 365–382.
89. **Orosz, Sz., Horváthné Kovács, B., Kruppa, J., ifj. Kruppa, J., Iván, F., Hoffmann, R. (2018):** Új növénytermesztési stratégia a tömegtakarmányok termesztésében - a klímaváltozás tükrében. *Értékálló aranykorona*. (18. évf.) 1. sz. p. 19-21.
90. **Ouyang, J. W., Hu, H., Chuang, C. C., Tseng, C. C. (1973):** Induction of pollen plants from anthers of *Triticum aestivum* L. cultured in vitro. *Sci. Sin.*, 16, 79–95 p.
91. **Ouyang, J.W., Jia, S.E., Zhang, C., Chen, X., Fen, G. (1989):** A new synthetic medium (W14) for wheat anther culture. Annual Report, Institute of Genetics, Beijing: *Academia Sinica*, 91–92 p.
92. **Pachota, K.A., Orłowska, R., Bednarek, P.T. (2022):** Medium composition affects the tissue culture-induced variation in triticale regenerants. *Plant Cell Tissue Organ Cult.* 151, 35–46 p.
93. **Pauk J. (2003):** Androgenezis és a genetikai transzformáció különböző gabonafajokban. MTA Doktori értekezés, 1-139. p.
94. **Pauk, J., Manninen, O., Mattila, I., Salo, Y., Puli, S. (1991):** Androgenezis in hexaploid spring wheat F2 population and their parents using a multiple-step regeneration system. *Plant Breeding*, 107: 18-27. p.
95. **Pauk, J., Mihály, R., Monostori, T., Puolimatka, M. (2003a):** Protocol of triticale (*X Triticosecale* Wittmack) microspore culture. In: Maluszynski M, Kasha KJ, Forster BP, Szarejko I (eds) Doubled haploid production in crop

- plants: a manual book. *Kluwer Academic Publishers*, Dordrecht, pp. 129–134.
96. **Pauk, J., Mihály, R., Puolimatka, M. (2003b):** Protocol of wheat (*Triticum aestivum* L.) anther culture. In: Doubled Haploid Production in Crop Plants, a Manual; Maluszynski, M., Kasha, K.J., Forster, B.P., Szarejko, I., Eds.; Kluwer, Dordrecht, *The Netherlands*, pp. 59–64.
 97. **Pauk, J., Poulimatka, M., Lökös Tóth, K., Monostori, T. (2000):** In vitro androgenesis of triticale in isolated microspore culture. *Plant Cell Tissue Organ Cult.* 61, 221–229 p.
 98. **Pfossner, M., Amon, A., Lelley, T., Heberle-Bors, E. (1995):** Evaluation of sensitivity of flow cytometry in detecting aneuploidy in wheat using disomic and ditelosomic wheat-rye addition lines. *Cytometry*, 21(4), 387–393. <https://doi.org/10.1002/cyto.990210412>
 99. **Plastina, A., Acharya, M., Marcos, F.M., Parvej, M.R., Licht, M.A., Robertson, A.E. (2023):** Does grazing winter cereal rye in Iowa, USA, make it profitable? *Renewable Agriculture and Food Systems*, 38(3): 1–13.
 100. **Ponitka, A., Slusarkiewicz-Jarzina, A., Wedzony, M., Marcinska, I., Wozny, J., Wozna, J. (1999):** The influence of various in vitro culture conditions on androgenetic embryo induction and plant regeneration from hexaploid triticale (*X Triticosecale* Wittm.). *J. Appl. Genet.* 40, 165–174 p.
 101. **PSU (2015):** The Penn State Agronomy Guide, The Pennsylvania State University, University Park (2015) Google Scholar
 102. **Purnhauser, L., Gyulai G. (1993):** Effect of copper on shoot and root regeneration in wheat, triticale, rape and tobacco tissue cultures. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 35: 131-139.
 103. **Rychlik, W., Rhoads. R. E. (1989):** „A computer program for choosing optimal oligonucleotides for filter hybridization, sequencing and in vitro amplification of DNA.” *Nucleic Acids Res.* 17, 8543–8551
 104. **Schlegel, R. (1996):** Triticale – today and tomorrow. In: Guedes- Pinto, H. – Darvey, N. – Carnide, V.P. (eds.): Triticale: Today and tomorrow. Kluwer Academic Publishers, the Netherlands. 21-31 p.
 105. **Sharma, H. P. (2023):** Green biomass and seed production performance of different triticale genotypes in western Terai region of Nepal. *International Journal of Phytology Research*, 3(1), 41–44.
 106. **Sinclair, L. A., Jackson, M.A., Huntington, J.A., Readman R.J. (2005):** The effects of processed, urea-treated whole-crop wheat or maize silage and supplementation of whole-crop wheat on the performance of dairy cows, *Livest. Prod. Sci.*, 95, p. 1-10.

107. **Slusarkiewicz-Jarzina, A., Pudelska, H., Wozna, J., Pniewski, T. (2017):** Improved production of doubled haploids of winter and spring triticales hybrids via combination of colchicine treatments on anthers and regenerated plants. *J. Appl. Genet.* 58, 287-295 p.
108. **Somers, D., Isaac, P., Edwards, K. (2004):** „A high-density microsatellite consensus map for bread wheat (*Triticum aestivum* L.).” *Theor. Appl. Genet.* 109, 1105–1114 p.
109. **Song, Q. J., Fickus, E. W., Cregan, P. W. (2002):** „Characterization of trinucleotide SSR motifs in wheat.” *Theor. Appl. Genet.* 104, 286–293
110. **Sun, C.S., Wang, C.C., Chu, C.C. (1973):** Cytological studies on the androgenesis of Triticale. *Acta Bot. Sin.* 15, 145–154 p.
111. **Szabó, M. (1981):** Triticale. In: Szabó, J.: A szántóföldi növények vetőmagtermesztése és fajtahasználata. *Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.* 161-167 p.
112. **Szabó, M. (1996):** Rozs. In: Bocz, E.: Szántóföldi növénytermesztés. *Mezőgazda Kiadó, Budapest.* 283-290 p.
113. **Thomas, W.T.B., Forster, B.P., Gertsson, B. Doubled haploids in breeding. In: Maluszynski M, Kasha KJ, Forster BP, Szarejko I (eds) (2003):** Doubled haploid production in crop plants: a manual book. *Kluwer Academic Publishers, Dordrecht*, 337–350 p.
114. **Torjek O., Kiss, E., Mazik-T., K., Hutvagner, G., Silhavy, D., Bánfalvy, Z., Kertész, Z., Pauk, J., Heszky, L. (2001):** Comparative molecular analysis of winter wheat cultivars and their doubled haploid derivatives. *Cer. Res. Commun.* 29, 41-48 p.
115. **Turesson, S., Ljungberg, A., Johansson, N., Karlsson K.E., Suijs, L.W., Josset, J.P. (2000):** Large-scale production of wheat and triticales double haploids through the use of a single-anther culture method. *Plant Breed.* 119, 455–459 p.
116. **Turesson, S.; von Post, R.; Ljungberg, A. Triticales anther culture. In: Maluszynski M, Kasha KJ, Forster BP, Szarejko I (eds) (2003):** Doubled haploid production in crop plants: a manual book. *Kluwer Academic Publishers, Dordrecht*, 117–122 p.
117. **Van Deynze, A. E., Sorrells, M. E., Park, W. D., Ayres, N. M., Fu, H., Cartinhour, S. W., Paul, E., McCouch, S. R. (1998):** „Anchor probes for.” *Theor. Appl. Genet.* 97, 356–369 p.
118. **Varughese, G. (1996):** Triticales: Present status and challenges ahead. In: Guedes- Pinto, H. – Darvey, N. – Carnide, V.P. (eds.): *Triticales: Today and tomorrow.* *Kluwer Academic Publishers, the Netherlands.* 16-19. p.

119. **Wang, Y.Y., Sun, C.S., Wang, C.C., Chen, N.F. (1973):** The induction of pollen plantlets of Triticale and *Capsicum annum* from anther culture. *Scientia Sin.* 16, 147–151 p.
120. **Warzecha, R., Sowa, S., Salak-Warzecha, K., Oleszczuk, S., Sliwinska, E., Zimny, J. (2005):** Doubled haploids in production of male sterility maintaining triticale (*Triticosecale* Wittmack) lines. *Acta Physiol. Plant.* 27, 245–250 p.
121. **Wedzony, M. Protocol for anther culture in hexaploid triticale. In: Maluszynski M, Kasha KJ, Forster BP, Szarejko I (eds) (2003):** Doubled haploid production in crop plants: a manual. *Kluwer Academic Publishers*, Dordrecht, 123–128 p.
122. **Würschum, T., Tucker, M.R., Reif, J.C., Maurer, H.P. (2012):** Improved efficiency of doubled haploid generation in hexaploid triticale by in vitro chromosome doubling. *BMC Plant Biol.* 12, 109.
123. **Zimny, J., Sowa, S., Otreba, P., Kozdoj, J., Zimny, A., Kaczmarek, J., Oleszczuk, S., Czapliczki, A., Jedryczka, M. (2021):** Pollen flow of winter triticale (*X Triticosecale* Wittm.) investigated with transgenic line expressing β -glucuronidase gene. *Agronomy*, 11, 431.
124. **Zur, I., Dubas, E., Golemic, E., Szechynska-Hebda, M., Janowiak, F., Wedzony, M. (2008):** Stress-induced changes important for effective androgenic induction in isolated microspore culture of triticale (*X Triticosecale* Wittmack). *Plant Cell Tissue Organ Cult.* 94, 319–328 p.
125. **Zur, I., Dubas E., Golemic, E., Szechynska-Hebda, M., Golebiowska, G., Wedzony, M. (2009):** Stress-related variation in antioxidative enzymes activity and cell metabolism efficiency associated with embryogenesis induction in isolated microspore culture of triticale (*X Triticosecale* Wittm.). *Plant Cell Rep.* 28, 1279–1287 p.
126. **Zur, I., Dubas, E., Krzewska, M., Zielinski, K., Fodor, J., Janowiak, F. (2019):** Glutathione provides antioxidative defence and promotes microspore-derived development in isolated microspore cultures of triticale (*X Triticosecale* Wittm.). *Plant Cell Rep.* 38, 195–209 p.
127. **Zur, I., Dubas, E., Krzewska, M., Kopec, P., Nowicka, A., Surowka, E., Gawronska K., Golebiowska G., Juzon K., Malaga S. (2021):** Triticale and barley microspore embryogenesis induction requires both reactiveoxygen species generation and efficient system of antioxidative defence. *Plant Cell Tissue Organ Cult.* 145, 347–366 p.