

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

Vályi Nagy Marianna

Gödöllő

2025



ŐSZI BÚZA ÉS ŐSZI BORSÓ KÖLCSÖNHATÁSÁNAK VIZSGÁLATA KEVERÉKVETÉSBEN

DOI: 10.54598/006860

Vályi Nagy Marianna

Gödöllő

2025

A doktori iskola

Megnevezése: Növénytudományi Doktori Iskola

Tudományága: 4.1 Növénytermesztési és Kertészeti Tudományok

Vezetője: **Prof. Dr. Helyes Lajos**
egyetemi tanár, az MTA levelező tagja
MATE Kertészettudományi Intézet

Témavezetők: **Dr. habil. Kassai Mária Katalin**
egyetemi docens
MATE Növénytermesztési-tudományok Intézet

Dr. Kristó István
főiskolai docens
SZTE Növénytudományi és Környezetvédelmi Intézet

.....
.
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
.
A témavezető jóváhagyása

.....
.
A témavezető jóváhagyása

1. Tartalomjegyzék

2. Nemzetközi irodalomban használt szakkifejezések jegyzéke	6
3. Bevezetés.....	8
4. Célkitűzések	10
5. Irodalmi áttekintés	11
5.1 A növénytársítás helye a szántóföldi növénytermesztésben.....	11
5.2 A növénytársítás elterjedése	11
5.3 Növénytársítás alapvető típusai és termésgeometriája	13
5.4 A hüvelyesek jelentősége a vetésforgóban.....	15
5.5 A borsótermesztés kritériumai.....	16
5.6 A keverékvetés előnyei	18
5.6.1 Terméselőny, erőforrás megosztás	18
5.6.2 Csökkent környezeti terhelés.....	19
5.6.3 Magas termésstabilitás és állóképesség.....	20
5.6.4 Gyomelnyomóképesség, versenyképesség fokozása.....	21
5.6.5 Kártevők és kórokozók mérsékelt jelenléte.....	22
5.7 A keverékvetés hátrányai	23
5.7.1 A gyakorlati megvalósítás nehézségei.....	23
5.7.2 Termésszelektálás, értékesítési problémák.....	26
5.8 Termésmennyiség alakulása keverékvetésben	26
5.8.1 Nitrogén műtrágyázás hatása a termésmennyiségre	26
5.8.2 A vetéssűrűség szerepe a termésmennyiség alakulásában	28
5.9 Fehérjetartalom keverékvetésben	28
5.9.1 Fehérjenövények helyzete hazánkban és Európában.....	28
5.9.2 Nitrogéntrágya szerepe a fehérjetartalom alakulásában	29
5.10 Társnövények közötti kölcsönhatás.....	31
5.10.1 Versenykiegyensúlyozottság a növénytársításon belül	31
5.10.2 A komplementaritás kérdése és a dominancia szerepe.....	32
5.10.3 Magasság jelentősége, növekedési dinamika	34
5.11 Fejlődésmenetre gyakorolt hatások	35
5.11.1 Hőstressz és az aszály hatásai a társnövényekre	35
5.11.2 Az őszi búza és borsó kritikus időszakai.....	35
6. Anyag és Módszer	38
6.1 Kísérleti hely elhelyezkedése	38
6.2 Kísérleti időszak időjárási viszonyai.....	39
6.3 Kísérlet bemutatása	42

6.4 A kísérletben felhasznált fajták és jellemzésük.....	43
6.5 Fenológiai fázisok megfigyelései	45
6.6 Elvégzett vizsgálatok és eszközei.....	46
6.7 Kölcsönhatás számítás menete	46
6.8 Statisztikai módszerek.....	48
7. Eredmények.....	49
7.1 Terméselemek vizsgálata	49
7.1.1. Az őszi búza Sváb-féle kumulatív terméselemzése.....	49
7.1.2. Az őszi borsó Sváb-féle kumulatív terméselemzése	62
7.2 Kölcsönhatás az őszi búza és az őszi borsó között.....	75
7.2.1. Kompetíciós indexek	75
7.2.2. Gazdasági mutatók	84
7.3 Fenológiai megfigyelések.....	85
7.3.1 A társnövények fejlődésmenete és a hasznos hőösszeg meghatározása.....	85
7.3.2 A magasság alakulása növénytársításban.....	87
7.4 Az őszi búza termésmennyiség és minőségének alakulása növénytársításban	90
7.4.1 Őszi búza termésmennyiségének vizsgálata.....	90
7.4.2 Őszi búza termésminőségének vizsgálata	91
7.5 Őszi borsó termésmennyisége és minőségi paraméterei keverékvetés esetén.....	96
7.5.1 Az őszi borsó termésmennyiségének vizsgálata.....	96
7.5.2 Az őszi borsó termésminőségének vizsgálata	98
8. Következtetések.....	100
8.1 Sváb-féle kumulatív terméselemzés értékelése	100
8.2 Kölcsönhatások értékelése	102
8.3 Fenológiai megfigyelések és a magasság értékelése	104
8.4 Az őszi búza termésmennyiségének és minőségének értékelése.....	105
8.5 Az őszi borsó termésmennyiségének és minőségének jellemzése	109
9. Új tudományos eredmények.....	111
10. Összefoglalás.....	112
11. Summary	114
12. Melléklet.....	116
12.1. Melléklet 1.: Felhasznált irodalmi források.....	116
12.2. Melléklet 2.: A gazdasági mutatók statisztikai elemzése	130
12.3. Melléklet 3.: Őszi búza termésmennyiségének statisztikai elemzése.....	133
12.4. Melléklet 4.: Az őszi búza fehérjetartalmának és Zeleny indexének statisztikai elemzése.....	134
12.5. Melléklet 5.: Őszi borsó fehérjetartalmának statisztikai elemzése	137

2. Nemzetközi irodalomban használt szakkifejezések jegyzéke (A szerző fordítása)

4C megközelítés komplementaritás, kompenzáció)	(kompetíció, kooperáció,	4C approach (Competition, Complementarity, Cooperation, Compensation)
agresszivitás		aggressivity (A)
alapvető hőtűrés		basal thermotolerance
ásványi nitrogén megosztás		mineral nitrogen sharing
asszociációs rezisztencia		associational resistance
biológiai öntözés		bio-irrigation
dominancia rangsor		dominance hierarchy
egyoldalú termesztés hatásának megtörése a gabona túlsúlyos vetésforgóban		break crop-effect
erőforrás felhasználás mintázata		pattern of resource consumption
erőforrás megosztás		resource partitioning
függőleges niche rétegződés		vertical niche stratification
gazdasági előny		monetary advantage index (MAI)
gyengébb fajok közötti vetélytárs		weaker interspecific competitor
helyi szelekciós nyomás		local selection pressure
időbeli niche átfedés		temporal niche overlap
kezdeti fejlődési előny		initial growing advantage
kompetitív depresszió, versengésből fakadó viselkedészavar		competitive depression
kompetíciós index		competition indices
kritikus időszak		critical period
kulcsfázis		key phase
kultúrnövény és gyomfajokból álló társulás egésze		assemblage of multiple species communitites composed of crop and weed species
küszöb érték		threshold pattern
niche elkülönülés		niche separation
növekedési fázis		growth duration/ growth cycle
növénytársítás előny index		intercropping advantage (IA)
növényi alapú nitrogén bázis/forrás		N pool
szegélyhatás		border row effect
talajklimatikus viszonyok		pedoclimatic conditions
tápanyag igény maximuma		peak requirement for growth resources
tartalék nitrogénhatás		N spare effect

terméselőny	yield advantage
terméstöbblet	overyielding/yield surplus
területarányos hozam index	land equivalent ratio (LER)
tervezett térbeli sokszínűség	planned spatial diversity
tényleges termésveszteség	actual yield loss (AYL)
többszörös termesztés, több növény egyidejű	polyculture, multiple
termesztésének rendszere	cropping system
uralkodó/elsöprő dominancia	overwhelming dominance
versenyhátrány	competitive disadvantage
versenyhierarchiák	competitive hierarchies
versenykiegyensúlyozottság	competitive balance
versenyképességi arány	competitive ratio (CR)

3. Bevezetés

A mezőgazdaság erőteljes fejlődése az 1950 és az 1960-as évek között vette kezdetét hazánkban és a világon egyaránt. A zöld forradalomként (Green Revolution) is említett kezdeményezés olyan kutatási technológiák bevezetését eredményezték a termelésben, mint a trágyázás, a kémiai növényvédelem, a szabályozott vízellátás, a korszerű talajművelés és gépesítés. A fajtanemesítés a korábbi szelektív nemesítési iránnyal szemben rövid időn belül az új, nagy termőképességű fajták felé fordult. Az új fajták és technológiák egyaránt hozzájárultak a termés hozamok növekedéséhez, amely eredményeképp a termelés két és félszeresére emelkedett a korábbi évekhez képest (Bocz 1992, Loch 1999). A fajtaváltás elsősorban a búza és kukorica termesztését érintette, miközben a szántó tömegtakarmányok termésszintje országos átlagban lényegesen kisebb mértékben növekedett (Kismányoky 2005). A biológiai nitrogénforrásokról az iparra való átállás, amely a világon mindenhol megfigyelhető volt a XX. században, az egyik legfigyelemreméltóbb és mélyrehatóbb átalakulás volt a mezőgazdaságban. A nagymértékű műtrágya felhasználás hatóanyag arányaiban főként a nitrogén műtrágya irányába tolódott el, jelentős függőséget okozva a termelésben (Loch 1999). Nem meglepő tehát, hogy a nitrogén műtrágyák előállításához használt Haber-Bosch eljárást a kor legfontosabb találmányaként tartották számon (Crews és Peoples 2004). A mezőgazdaság intenzívvé válásának eredményeként a vetésszerkezet jelentősen átalakult: a rövid távú előnyök a versenyképesebb fajok túlsúlyát idézték elő, amely a monokultúrára való átállás lehetőségét vonta maga után. Ezáltal éppen a talaj termőképességét regeneráló hüvelyes növények kiszorultak a vetésforgóból (Jensen et al. 2020, Crews és Peoples 2004). A jelenség ma is létezik: Magyarországon a teljes szántóterület mintegy 60%-án öt növény termesztése folyik (kukorica, búza, napraforgó, árpa, repce) (Pepó 2022). A gabonafélék elsőbbsége és túlsúlya jelentős mértékben korlátozza a vetésváltás megvalósításának lehetőségeit, ennek következtében az elővetemények között többnyire a rossz, de legfeljebb közepes kategóriájú növények fordulnak elő (Pepó és Sárvári 2011). A leszűkült termék paletta önmagában is kiszolgáltatottságot jelent a váltakozó piaci igényekkel szemben, miközben a klímaváltozás negatív hatásai jelentősen befolyásolják a termelés színvonalát. A szélsőséges időjárási jelenségek folyamatosan próbára teszik termesztett növényeink ellenálló képességét. Jolánkai és Birkás (2007) szerint a növénytermesztés jövőbeni lehetőségeit nagy eséllyel a klímaváltozás negatív hatásaihoz való alkalmazkodás szintje fogja bővíteni, vagy éppen korlátozni. Hosszútávon tehát mindenképp szemléletváltás szükséges, amely magába foglalja a vetésszerkezet átalakítását. Időszerű a kérdés, hogy érdemes-e ragaszkodni a bevált termesztési gyakorlathoz oly módon, hogy közben folyamatosan ki vagyunk téve a világpiac és az éghajlatváltozás változásainak?

Az elmúlt két évtized kutatásai rávilágítottak arra, hogy a nitrogén műtrágyák és a növényvédő szerek alkalmazása nemcsak pozitív hatással járt: túlzott mértékű használatuk befolyásolja a nitrogén körforgalom egyensúlyát a talajban, eutrofizációt okoz a nitrát kimosódás által és hozzájárul a globális felmelegedéshez közvetlenül N_2O útján, és közvetetten CO_2 által a szintetikus műtrágyák gyártásából származóan (Fustec et al. 2010, Duchene et al. 2017, Louarn et al. 2021). A műtrágyáktól való függés nemcsak környezetvédelmi szempontból okozott problémát. Az utóbbi években a beszerzés nehézségei, és a többszörösére emelkedett magas ár arra késztette a gazdákat, hogy más, alternatív termesztési módokat is figyelembe vegyenek. A hatékony vetésforgó mellett a legegyszerűbb választás a biológiai sokféleség megőrzése érdekében a növénytársítás, amely rendszerint két, vagy több növény egy időben, egy területen történő termesztését jelenti (Willey 1990). A gabonafélék hüvelyes növényekkel való társításának jelentősége éppen abban rejlik, hogy a gabonatermő területek részaránya változatlan marad, miközben a termesztett növények diverzifikációja nő, a hüvelyes növények nitrogénmegkötő képessége által egy természetes nitrogénforrás kerül felhasználásra, valamint termésnövelő, illetve termésbiztonságot nyújtó hatásuk már a vetés évében érvényesül. Ez a termesztési mód kimondottan elterjedt a forró égővi országokban, ugyanakkor jelen volt a fejlett országokban is a mezőgazdaság intenzifikációját megelőzően. Jelenleg a növénytársítás a kis ráfordítással bíró,

illetve ökológiai gazdaságok körében fordul elő, de további terjedése a mérsékelt övben az elkövetkező években fokozottan várható. A világ népessége várhatóan 2050-re eléri a 9 milliárd főt (Voisin et al. 2014, Bedoussac et al. 2015), amely komoly kihívást jelent a mezőgazdaság számára elsősorban a fenntarthatóság szempontjából szükséges erőforrások rendelkezésre állásának biztosítása érdekében (Bedoussac et al. 2015). Az egyre változó termesztési feltételek miatt a szántóföldi növénytermesztés hosszútávon csak úgy lehet hatékony, ha az környezetkímélő, javítja az élővilág diverzifikáltságát, minőségi terméket állít elő, és gazdaságilag is életképes termesztéstechnológiát követ (Pepó és Sárvári 2011). Ebben az olvasatban a növénytársítás egyike azon termesztés módoknak, amely lehetőséget nyújtanak a fent említett célok eléréséhez, és egyben építő kövei a fenntartható mezőgazdaság feltételrendszerének.

A témában számos kutatás folyt az elmúlt években, ugyanakkor ezek a vizsgálatok a legtöbb esetben a betakarított termést vették figyelembe és kevésbé kapott hangsúlyt a társnövények közötti kölcsönhatás vizsgálata. A különböző növényfajokból származó társnövények feltehetően különbözőképpen befolyásolják egymást és környezetüket egyedfejlődésük során. Egy hatékony növénytársítást a gyakorlatban nem könnyű összeállítani, jelenleg nincs kidolgozott módszer arra vonatkozóan, hogy milyen fajtákat, milyen vetésarányban és a társnövények egymáshoz viszonyított arányában érdemes kialakítani. Dolgozatomban szeretném felhívni a figyelmet ezeknek a tényezőknek a fontosságára, hiszen ezek a paraméterek nemcsak előre tervezhetők, de döntően hozzájárulnak a végleges termés kialakításához. Remélem, hogy eredményeim hozzájárulnak a növénytársítás, mint termesztési módszer népszerűsítéséhez és kiegészítésül szolgálnak az eddigi kutatásoknak.

4. Célkitűzések

Doktori munkámban a következő kérdésekre kerestem választ:

- A növénytársítás hatással van-e a társnövények terméselemeinek értékére?
- Milyen kölcsönhatás van jelen a társnövények között; kiegyensúlyozott keverékek jönnek-e létre?
- Felállítható-e párhuzamos fejlődésmenet a társnövények növekedési üteme alapján?
- Van-e eltérés a magasság tekintetében a tiszta vetések és a társított parcellák között?
Növénytársításban hogyan változik a társnövények magassága egymáshoz képest?
- Hogyan alakul növénytársításban a termésmennyiség a tiszta vetéshez képest mind az őszi búza, mind az őszi borsó tekintetében?
- Milyen minőségi értékeket érhetünk el a társnövények esetében az önálló vetéssel való összehasonlításban?

5. Irodalmi áttekintés

5.1 A növénytársítás helye a szántóföldi növénytermesztésben

A magas energia és fosszilis tüzelőanyag bevitelen alapuló intenzív mezőgazdaság—amely a termelékenység nagyfokú növekedését eredményezte— gyors felvirágzását követő fenntarthatósága ma már nem biztosított eléggé. Az intenzív termesztési rendszerek a monokultúrák térhódítását vonták maga után, ahol a biológiai sokféleséget nagytáblás művelésben kevés, magas hozamú kultúrnövénnyel helyettesítették (Maitra et al. 2021, Crews és Peoples 2004). A nagyüzemi gazdálkodás nagyfokú növénysspecializációt, a termelési költségek minimalizálását, a termelékenység és a nyereség növelését tette lehetővé. Kétségtelen előnye, hogy általa nagy mennyiségű élelmiszer előállítása lehetséges, ami jelentős a világelelmiszer szempontjából. Hátránya, hogy felborítja a természeti egyensúlyt, a biodiverzitás csökkenése negatív hatással van a talaj szerkezetére, a genetikailag homogén növények természetes védekező képessége pedig gyengül (Malézieux et al. 2009, Gaba et al. 2015). Ezzel szemben a növénytársítás a növények kölcsönhatásán alapul, és célja a társnövények növekedésének és termelékenységének maximalizálása, egyben a szomszéd növény túlélési esélyének növelése (Hauggaard-Nielsen és Jensen 2005). A növénytársítás fogalmát először Willey (1990) határozta meg, mely szerint az két vagy több növény ugyanazon a helyen, egyidőben való termesztését jelenti. A benne foglalt növényeket nem feltétlenül vetik egyszerre, és a betakarítás ideje is eltérő lehet. Ugyanakkor a tenyésztő jelentős részében a társnövények együtt vannak jelen a területen. A növénytársítás általában egy fő növényből, és egy, vagy több társnövényből áll, ahol a fő növény gazdasági, vagy élelmiszertermelési okokból elsődleges szerepet tölt be (Lithourgidis et al. 2011a). Különböző növényfajok alkalmasak együtt termesztésre. Connolly et al. (2001) összefoglalása alapján a növénytársítással kapcsolatos kutatások 80%-át Afrikában és Ázsiában végezték. A legtöbbet előforduló társnövények a következő növények közül kerültek ki: kukorica (*Zea mays*), homoki bab (*Vigna unguiculata*), földimogyoró (*Arachis hypogaea*), búza (*Triticum aestivum*), köles (*Pennisetum glaucum*), lóhere fajták (*Trifolium spp.*), közönséges bab (*Phaseolus vulgaris*), galambborsó (*Cajanus cajari*), lóbab (*Vicia faba*), árpa (*Hordeum vulgare*) és a borsó (*Pisum sativum*). Sok más faj is alkalmas lehet társításra, az összeállítást minden esetben az adott termesztési cél és a termesztési körülmények határozzák meg (Hauggaard-Nielsen és Jensen 2005). A legtöbb esetben a társnövények különböző fajokból és különböző növénycsaládokból származnak (Zhang et al. 2022), vagy ritkábban egyszerűen ugyanazon növénykultúra különböző fajtái, vagy kultúrváltozatai, mint például két, vagy több búzafajta keveréke ugyanabban a táblában (Pankou et al. 2021, Lithourgidis et al. 2011a). A társnövény kombinációkat fizikai elhelyezkedéstől függően is csoportosíthatjuk, ez esetben lehetnek fák keverékei, fa és szántóföldi növények, és szántóföldi növények elegyei. Ekkor a kombinációkat elsősorban a tenyésztő hossza és a környezethez való alkalmazkodás képessége határozza meg. Ha a térbeli és időbeli intenzifikáció növénytársításban történik, a gazdálkodók választása és a termesztési feltételek alapján a társítás egyévi és évelő növények kombinációiból is állhat (Maitra et al. 2021).

5.2 A növénytársítás elterjedése

A hagyományos mezőgazdaság, ahogyan azt évszázadok óta gyakorolták szerte a világon, mindig is magába foglalta a növénytársítás különböző formáit. Ezek a társítások valószínűleg az

elsőként alkalmazott gazdálkodási rendszerek közé tartoztak (Lithourgidis et al. 2011a). Ma a növénytársítás a világ számos forró égővi részén általánosan alkalmazott termesztési mód (Moore et al. 2022, Scalise et al. 2015), különösen a kis ráfordítással bíró gazdaságok körében. Egyes becslések szerint a hagyományos többszörös termesztési rendszerek a világ élelmiszer ellátásának ma is 10-15%-át alkotják. Az úgynevezett polikultúrák Nyugat-Afrika megművelt területének legalább 80%-át foglalják el, míg Latin Amerikában az alapvető élelmiszerek termelése is ebben a gazdálkodási rendszerben történik (Altieri 2004). Azokon a területeken, ahol az éves csapadékmennyiség kevesebb, mint 600 mm, és a tenyészidőszak meglehetősen rövid, mint például Nigéria északi részén, a korai érésű és szárazságtűrő növények dominálnak. Ilyen növény a köles és a cirok. Ezzel szemben a 600 mm feletti csapadékkal rendelkező területeken megjelenik a búza, árpa, zab és rozs, amelyet gyakran társítanak a széles érési skálájú hüvelyesek közül borsóval, csillagfürttel, és közönséges bükkönnyel. A trópusi és szubtrópusi régiókban a gabonafélék közül elsősorban kukoricát, cirkot, kölest, kevésbé rizst, míg a hüvelyesek közül rendszerint a tehénborsó, földimogyoró, szója, csicseriborsó, bab és galambborsó kerülnek ki. Ezekben a termesztési rendszerekben a korai érésű és lassan érő növényeket kombinálnak, amelyek hatékonyan használják ki a tenyészidőszak hosszát (Malézieux et al. 2009). A latin országokban a termelők a bab 70-90%-át kukoricával, burgonyával és más növényekkel együtt termesztik, míg a kukoricatermő területek 60%-a társított kultúra (Lithourgidis et al. 2011a). Afrikában a tehénborsó 98%-a, Kolumbiában a bab 90%-a növénytársításban vetett, a trópusokon a kevert hasznosítású teljes megművelt területek aránya az indiai legalacsonyabb 17% és a legmagasabb malawi 94% között mozog (Brooker et al. 2015). Kína a világ népesség 22%-át vallhatja magáénak, ezzel szemben a teljes szántóterület kevesebb, mint 9%-a tartozik ide. A kevés megművelt területből eredően a növénytársítás termesztési rendszere nagy hangsúlyt kap a növénytermesztésben. A legtöbb tradicionális gazdálkodás helyspecifikus, egy adott helyen és időben fenntartható, amely egyben tükrözi a sikerének a titkát. A társított növények legtöbbje olyan helyi tájfajta, amely nagyobb termésbiztonságot és ellenállóképességet nyújt a modern fajtákkal ellentétben a betegségek, kártevők, aszályok és egyéb stressz tényezőkkel szemben (Altieri 1999).

A fejlett országokban a mezőgazdaság fokozódó iparosodásának előnyeit elsősorban a nagyobb gazdálkodók tudják élvezni, ahol rendelkezésre áll állandó géppark és felvevő piac, elérhető mennyiségű műtrágya és növényvédőszer. Ezek a ráfordítások a magas költségek miatt elérhetetlenek a kistermelői gazdaságok számára, amelyek saját maguk fenntartásához éppen, hogy eleget tudnak termelni. A kistermelői gazdaságok szempontjából a megélhetésük biztosításának egyik módja a növénytársítás alkalmazása. A többszörös termesztés ez okból főként az olyan marginális területeken nyert helyet, ahol korlátozott termelési képességgel rendelkeztek elsősorban a tökehiány miatt (Lithourgidis et al. 2011a). Habár a növénytársítás a fejlett országokban is jelen volt a mezőgazdaság intenzifikációja előtt (Hauggaard-Nielsen és Jensen 2005, Hauggaard-Nielsen et al. 2009a), mára jórészt kiszorult a gazdálkodási rendszerből, abból kifolyólag, hogy a modern mezőgazdaság a hangsúlyt a piacközpontú gazdaságra helyezte át (Voisin et al. 2014). Az optimalizált termesztési rendszerekre való áttérés a XX. század során jelentős átalakulást eredményezett szerte a világon a mezőgazdaságban (Crews és Peoples 2004). A vetésszerkezet tudatosan a monokultúra irányába tolódott el, és figyelmen kívül hagyta a növénytársításban rejlő lehetőségeket. Mára fokozatosan fedezik fel újra ennek a fajta termesztési rendszernek az értékét. A növekvő környezettudatosság, a nem megújuló források korlátozott mennyisége, és a fenntartható termesztési módra való törekvés együttesen vezetett ahhoz a fokozott érdeklődéshez, amely a növénytársítást az utóbbi években kísért (Moore et al. 2022, Naudin et al. 2014, Bacchi et al. 2021, Fujita et al. 1992, Dordas et al. 2012).

A növénytársítás másik jelentős felhasználási területe a forgatás nélküli és ökológiai gazdaságokban történik (Zhang et al. 2022). Az ökológiai ágazatban a gazdálkodóknak gyakorlatilag nincs eszközük a környezeti változások leküzdésére, hiszen az ökológiai gazdálkodás elvei és az Európai Unió 2092/91 szabályozása szerint növényvédőszer használata nem megengedett (Lithourgidis et al. 2011a, Bedoussac et al. 2015). Ezen kívül túlnyomóan olyan,

a hagyományos termesztés részére nemesített fajtákra támaszkodhatnak, amelyek többsége önmagában nem képes hatékonyan ellenállni a kártevők, kórokozók, és gyomok nyomásának. A növénytársítás ezzel szemben hatékony gyomelnyomást, kártevő és betegségek elleni védekezést, valamint a talaj erőforrásainak felhasználását teszi lehetővé a biogazdálkodási rendszerekben (Bulson et al. 1997). Az elmúlt évtizedekben számos biogazdálkodó fokozatosan veszi át ezt a termesztési formát azért, hogy kiaknázza annak előnyeit (Altieri 2004, Corre-Hellou et al. 2006).

Hazánkban a mezőgazdaság intenzív fejlődését megelőzően szokás volt a borsót támasztónövényekkel vetni (Kurnik 1970, Kiss 1980). A legtöbb esetben lóbabbal, magvas gomorkával, vagy más néven sárga repcével társították, de egyes országokban búzával, árpával, zabbal, tavaszi repcével, mustárral, mészből szegény homoktalajokon pedig csillagfürttel keverten vetették. A vegyszeres gyomirtás, az új borsó fajták elterjedése, és az egyre tökéletesebb gépi betakarítás kiváltotta a támasztó növények szerepét, így innentől fogva a borsó önálló termesztésére tértek át. A mezőgazdaság fokozott fejlődése tehát magával hozta a termesztési mód átalakulását, és egyben a növénytársítás letűnését a hazai termelésben.

A növénytársítást általában nem tartották alkalmasnak gépesítésre az intenzív gazdálkodási rendszerben. Következésképpen – és lehetséges előnyei ellenére – ma is versenyben áll a modern termesztési módokkal szemben. Így elterjedésükhöz, és a fenntartható, hatékony mezőgazdaság lehetővé tételéhez e termesztési módot finomítani kell az erőforrás felhasználás hatékonyságának, és a termés hozam egyidejű növelése érdekében.

5.3 Növénytársítás alapvető típusai és termésgeometriája

A nemzetközi irodalom a növénytársításnak 4 fő típusát határozza meg (Maitra et al. 2021, Lopes et al. 2016). Ezek a váltakozó sorú vetés, a sávos vetés, a keverékvetés és a szekvenciális vetés. A különböző országokban különböző típusú társításokat alkalmaznak. A társítás elemeinek megválasztása függhet a keverni kívánt társnövényektől, és azok betakarítás után képviselt értékétől, valamint a gazdálkodó szaktudásától és a gépesítés szintjétől (Lopes et al. 2016). A hazai irodalom két, egymás után vetett növényfaj ugyanazon a területen, egy vegetációs időben történő vetését kettős termesztésként határozza meg (Antal 2005). Az ide sorolt vetési formák azonban egybevágóak a nemzetközi irodalomban használt növénytársítás szekvenciális vetés típusával. Emellett a keverékvetésen belül a hazai termesztésben ritkán, de előforduló fogalom még a köztes vetés (Bocz 1992). Kísérletemben a keverékvetést, mint vetési formát alkalmaztam. A tisztán látás végett a csoportosításkor a nemzetközileg elfogadott vetési formákat sorolom fel Maitra et al. (2021) alapján, kiegészítve azokat a hazai viszonylatban ismert vetés típusokkal.

- *váltakozó sorú vetés*: egy vagy több szabályos sorba vetett növény termesztését jelenti. A növénytársítás történhet sorban, vagy véletlenszerűen az első növényekkel. A soros művelés az erőforrások maximális felhasználását és a termelékenység optimalizálását elősegítő termesztési gyakorlat. Ez a módszer a takarónövényes pillangós virágú szálastakarmányok telepítésénél fordul elő.
- *sávos vetés*: a növénytársítás azon formája, ahol két vagy több növényt vetnek el lejtős talajon. A sávok a vetőgép szélességének, vagy annak többszörösének megfelelő szélesek, így lehetővé teszik az egymástól független termesztést, ugyanakkor elég szűkek ahhoz, hogy a növények egymásra hatással legyenek. A sávos vetés fokozza a beeső napfény felhasználási hatékonyságát marginális és gyenge talajokon. A talajkímélő és talajzsaroló növények kombinációját a lejtőre, vagy pedig az uralkodó szélirányra merőleges sávokba vetik. A sávos vetés fontos célja a talajerózió csökkentése és termés betakarítása gyenge talajokon. A kedvező mikroklíma kialakítása végett is szokás alkalmazni pl. kukorica-szója keverék esetén.
- *keverékvetés*: ebben az esetben két vagy több növényt termeszteneek együtt elkülönülő sorok nélkül. Olykor vegyes termesztésként is hivatkoznak rá. Legelő alapú termesztési

rendszerben a fűvek hüvelyes növényekkel való keveréke egy tipikus példája a keverékvetésnek. Ez a fajta társítás egyben táplálék és takarmány szerepet tölt be, amelynek egyedüli korlátja a terület mérete. Az élő polikultúra, mint agroökológiai stratégia lehetőséget kínál a termesztési módok intenzívvé válásához térben és időben. Hazai viszonyok között a keverékvetés példája az őszi, vagy tavaszi takarmánykeverékek, úgy, mint bükkönyös rozs, borsós napraforgó. Nagyüzemi termesztésben ez a vetési mód kevésbé alkalmazható, a kevert vetést fajonként külön-külön keresztsoros vetéssel két menetben vetik el. A betakarítás idejét általában a társnövények fejlettségi foka határozza meg. A takarmánykeverékek betakarítása zölden történik.

- Ide sorolhatjuk a *köztesvetést*, amikor egy nagy tenyészterületet igénylő növény közé másik növény kerül elvetésre. Nagyüzemekben ezt a vetési módot nem használják. Köztesvetés lehet a kukorica közé vetett tök, vagy bab társítása (Bocz 1992).
- *váltott művelés, vagy szekvenciális vetés*: olyan növénytársítás, amelyben két, vagy több növényt egyszerre természetnek az egyedfejlődés egy részében. Ebben a termesztési rendszerben a második növényt akkor vetik el, amikor az első növény életciklusának nagy részét befejezi, azaz eléri a reprodukív szakaszt, vagy közel teljesen érett, de még betakarítás előtt áll. A legalkalmasabbak azok a területek a váltott vetésre, ahol a talajnedvesség és termesztés ideje korlátozottan áll rendelkezésre. Az előző növény betakarítása előtt vetik el a következő növényt, így mindkét növény a táblán marad, az egyedfejlődésük pedig egymással átfedésbe kerül. Az utónövény a normál vetéshez képest kevesebb termést hoz szekvenciális vetés esetén, és nagyobb mennyiségű vetőmag szükséges a jó állomány eléréséhez.
- Hazánkban ennek a vetési formának két változata fordul elő (Antal 2005). Az egyik az úgynevezett *rávetés*, vagy *felülvetés*. Ebben az esetben az őszzel elvetett és megritkult búzára vagy rozsra tavasszal vörös herét vetnek, vagy rozsra tavaszi somkóró kerül. A tavaszi árpával egy időben vetett vörös here az *alávetés*. A főnövényként termesztett őszi búza, rozs, vagy tavaszi árpa a takarónövény, amelynek a betakarítása után a rá, vagy alávetett vöröshere tovább fejlődik, és még ugyanebben az évben takarítják be a termését.
- Ugyancsak a szekvenciális vetéshez sorolható a *másodvetés*, vagy *tarlóvetés* (Antal 2005). A második termést adó növényt a fő növény betakarítása után vetik el. A másodnövény a vegetációs időszak végére termést hoz. Másodvetésre a rövid tenészidejű, szárazságtűrő növények alkalmasak. Ilyen az őszi búza után következő mohar, kukorica-csalamádé, vagy napraforgó-csalamádé. Zöldborsó, őszi árpa, őszi takarmánykeverék után szuperkorai szemes kukorica, takarmányrepce, szudánifű, és a szója.

A növénytársítás növényi összetevői a rendelkezésre álló erőforrások hatékonyabb kihasználása eredményeképp magasabb növény-sűrűség kialakítását teszik lehetővé, mint az optimális vetéssűrűség tiszta vetésben (Willey 1990). Ez az állítás a klasszikus növénytársítási rendszerek összeadandó, illetve helyettesítő elrendezése által igazolható (Hauggaard-Nielsen et al. 2009a). Ebben a csoportosításban azonban mindenképp soros vetést alkalmaznak. Maitra et al. (2021) alapján a társnövények vetésaránya és a sorok elrendezése a társításban lehet előnyös, vagy hátrányos a tiszta vetésekhez képest. A fentiek alapján az említett két kategória a következő:

- *összeadódó, vagy összegző elrendezés* (Fukai és Trenbath 1993): ebben az esetben a társított növényeket a fő növény 100%-hoz rendeljük hozzák. A tiszta állományban 100%-ban elvetett növényt nevezzük fő növénynek (vagy alap növénynek), a másik növényt pedig társított növénynek. Ebben a termesztési rendszerben a társított növény az

alpnövény sorközébe kerül, vagy pedig az elrendezés attól függően változik, hogy jut-e elég hely a társnövény számára (például ikersoros vetés). A társnövény vetésaránya így többnyire kevesebb lesz, mint önálló termesztésben.

- *helyettesítő elrendezés* (Hauggaard-Nielsen et al. 2009a): az együtt termesztett növényeket társnövényeknek nevezzük. Itt az egyik társnövényt a másikkal helyettesítik, vagyis egyetlen növényt sem vetnek el a tiszta vetésben alkalmazott teljes vetéssűrűségben. Ebben a termesztési rendszerben a termés meghatározott hányadát beáldozzák a másik növény javára. A fajok közötti versengés viszonylag kisebb, mint az összegző elrendezés esetében.

5.4 A hüvelyesek jelentősége a vetésforgóban

A Fabaceae családba tartozó hüvelyes növények növényi fehérjében gazdagok, felhasználásuk állati takarmányozásban és humán táplálkozásban is egyaránt jelentős (Kismányoky 2005, Ghaley et al. 2005, Cernay et al. 2018). A hüvelyesek vetésszerkezetben, vetésváltásban kiemelkedő szerepet töltenek be (Gollner et al. 2019, Tran et al. 2022). Jelenlétük jelentős mértékben hozzájárul a termésbiztonság, illetve termésszint növeléséhez. A pillangósvirágúak egyedülálló tulajdonsága, hogy gyökérzetükön a légköri nitrogén megkötésére képes gümőképző baktériumok (*Rhizobium*) telepednek meg. Ebből adódóan a nitrogén felvétele egyaránt származhat a légkör szimbiotikus nitrogén megkötéséből, és a talaj szervesetlen nitrogén készletéből (Guinet et al. 2018, Bourion et al. 2007). A növények közötti nitrogén átvitel a nitrogén mozgásként határozható meg, amely egy élő növényből (amelyet donornak neveznek) egy másik felé (ez a nitrogén felvevő) történik. Ez egy kétirányú folyamat, ugyanakkor a nitrogén mozgása általában a magas nitrogén tartalmú növényekből a nagyobb igényű növények felé áramlik (Thilakarathna et al. 2016). A növénytermesztési rendszerek nitrogén ellátásának javítására irányuló stratégia a hüvelyesek termesztésbe való bevonása, amely a nitrogén átvitel által természetes, zöld nitrogénforrást biztosít a megkötő növény és környezete számára (Voisin et al. 2014, Jensen és Hauggaard-Nielsen 2003), emellett könnyen felvehető nagy mennyiségű nitrogént hagy a talajban maga után. A hüvelyes növények jó elővetemény értéke abban rejlik, hogy feltárják és mozgósítják a talaj tápanyagkészletét, gyökér és talómaradványaikkal a talaj tápanyagtartalmát gyarapítják. Kímélőleg hatnak a talaj vízháztartására, a mikrobiológiai életére és csökkentik a talajfertőzés lehetőségét (Kismányoky 2005). Elősegítik a jó kultúrállapot kialakulását, megtörik az egyoldalú termesztés hatását a gabona túlsúlyos vetésforgóban (Ghaley et al. 2005, Hauggaard-Nielsen et al. 2008, Knudsen et al. 2004). A gabonafélék magas vetésterületi aránya erős korlátot szab a klasszikus értelemben vett vetésforgó megvalósulásának, emiatt a búza hazai átlagban 1/3 részben önmaga, 1/3 részben kukorica, 1/3 részben pedig egyéb növények után kerül. Ez által az előveteményeket tekintve túlsúlyba kerülnek azok a növények, amelyek rossz, de legfeljebb közepes kategóriát testesítenek meg. Az elővetemények előnytelen hatását agrotechnikai beavatkozásokkal enyhíteni lehet, de ez többlet költséggel, nagyobb anyagfelhasználással, és esetlegesen nagyobb környezeti terheléssel járhat (Pepó és Sárvári 2011, Pepó 2022). A hüvelyesek, mint bio trágyák a növénytermesztési rendszerekben előveteményként akár 10-29%-kal is növelhetik a rákövetkező növények termését, amelyet elsősorban a búza, a kukorica és a repce esetében tapasztaltak, szemben azokkal a vetésforgókkal, ahol gabona volt az elővetemény. Emellett nitrogén műtrágya használata nélkül is jelentős növekedést mutattak a gabona utónövény minőségében a fehérjetartalom és az ásványi tápanyagok növekedése tekintetében (Divéky-Ertsey et al. 2022, Lengwati et al. 2020).

A II. világháború után a szintetikus nitrogén műtrágyák használata az élelmiszertermelés jelentős növekedéséhez vezetett a fosszilis alapú Haber-Bosch nitrogén műtrágya előállításának köszönhetően (Jensen et al. 2020). Azonban az üvegházhatású N_2O kibocsátása az ipari fejlődés óta jelentős mértékben megnőtt, amely a mezőgazdasági területek bővülésének, valamint a túlzott nitrogén műtrágya felhasználásnak tulajdonítható. A nitrogén műtrágyák bevezetését megelőzően az északi féltekén a megművel földterületek 25-50%-án hüvelyes legelőket, vagy takarónövényeket alkalmaztak a talaj termékenységének megőrzésére, vagy pedig állati eredetű

trágyát használtak fel (Crews és Peoples 2004, Bedoussac et al. 2015). Amíg az 1950-es években az összes rendelkezésre álló nitrogén 50%-a hüvelyes növények biológiai nitrogén megkötéséből származott, ez az arány az 1990-es évek közepére 20% körüli értékre esett vissza (Hauggaard-Nielsen et al. 2016, Smil 2002). A nagyobb diverzitású, és egyben összetettebb növénytermesztési rendszerek szemben az egy növényt preferáló termesztési módokkal gyakran nagyobb rugalmasságot eredményeznek (Malézieux et al. 2009), és jobban ellenállnak a külső stressz hatásoknak (Jensen et al. 2012), emellett csökkentik a külső forrásoktól való függést (Peoples et al. 2009). A hüvelyesek biológiai nitrogén megkötési képessége ekképpen enyhítheti a magas nitrogén műtrágya szükségletet (Guinet et al. 2018, Kherif et al. 2021, Fustec et al. 2010), csökkentheti a szintetikus műtrágyák előállításából származó CO₂ kibocsátás mértékét (Neumann et al. 2006), mérsékelheti a mezőgazdasági termékek karbon lábnyomát (Bedoussac et al. 2015) emellett a termelési költségek is kevesebb terhet rónak a termelőkre (Mamine és Farés 2020). Jensen et al. (2020) becslései alapján, globális szinten növénytársításban a szintetikus műtrágya szükséglet körülbelül 26%-kal csökkenthető. Smil (2002) szerint csupán a hüvelyes növények vetésforgóba vonása 12-30%-kal mérsékelné a fosszilis tüzelőanyag felhasználást évente. A szemes fehérjenövények közül növénytársításban a leggyakrabban alkalmazott társnövény a borsó, amelyet búzával, vagy árpával kevernek (Monti et al. 2016). A borsó ugyan elővetemény iránt kevésbé igényes, önmagával azonban nem fér meg (Kurnik 1970). Ha ugyanazon a talajon borsót követ, felléphet „borsóuntság”, amely élettani okokon kívül a kórokozók, illetve kártevők elterjedését segítheti elő. Ennek eredményeképp nemcsak a termés mennyisége és minősége csökken, hanem a mag biológiai értéke is sérülhet. Önmaga, vagy más pillangós növény után legalább 4 évig nem kerülhet, a leggyakrabban két kalászos növény közé kerül. A borsó elhelyezése a növényi sorrendben tehát nem okoz különösebb gondot, termesztése vitathatatlanul előnyöket nyújt a vetésforgóban az utónövények számára. A növénytársítás jelentősége éppen abban mutatkozik meg, hogy a borsó kiemelkedő elővetemény hatása már a vetés évében érvényesül, természetes és megújuló nitrogénforrást biztosít a társnövény számára, valamint több növény együttes termesztésével a biológiai sokféleség növekedését segíti elő oly módon, hogy az ajánlott növényi sorrend nem sérül.

5.5 A borsótermesztés kritériumai

A borsó, mint társnövény használatának előnyei mellett mindenképp szót kell ejteni annak negatív vonásairól. Európában az összes szántóterület mindössze 4%-án termesztnek borsót (Divéky-Ertsey et al. 2022, Voisin et al. 2014), és termőterületük folyamatos csökkenést mutat (Preissel et al. 2015, Rubiales et al. 2021). Ma Magyarországon 10 847 hektáron termesztik 2.2 t/ha termésátlaggal (Internet 1). A gabonafélékhez képest a hüvelyeseknek kisebb a gazdasági megtérülése, különösen, ha nem vesszük figyelembe az utónövényre, vagy a társnövényre gyakorolt pozitív hatásait és a hazai valorizáció lehetőségét (Rubiales et al. 2021). Ezáltal olyan egy ördögi körbe kerülnek a termelés és az értékesítés minden területén, ami technológiai leállást eredményezhet. Az alacsonyabb termelés alacsonyabb felhasználást von maga után, ami együttesen a mezőgazdasági beruházások, a nemesítés, szaktanácsadás és feldolgozás csökkenéséhez vezethet. A hüvelyesek fokozatos mellőzöttsége (Ditzler et al. 2021) azonban nemcsak a vetésforgóban betöltött szerepük miatt lényeges, értékes termésük legalább annyira kihasználatlan marad a humán és állati táplálkozásban is (Voisin et al. 2014). A vetésterület hanyatlása, mint jelenség, összefügg a földhasználat mélyebb változásaival, amely a specializált, intenzív termesztés irányába mutat, kiemelve a gabonafélék és olajos növények hangsúlyos jellegét (Preissel et al. 2015). Emellett a piaci igények ugyancsak a termesztési rendszerek specializációját segítik elő, kiszorítva az olyan növények termesztését, amelyek nem képviselnek közvetlen értéket számára (Voisin et al. 2014, González et al. 2023). A hüvelyesek csekély gazdasági versenyképességének számos oka van, amely közül talán a legjelentősebb az erős termésingadozás (Bocz 1992, Bourion et al. 2007). Éghajlati adottságokra a legérzékenyebb a borsó, ezáltal termésbiztonsága is alacsony. Míg az 1970-80-as években a termésingadozása

mindössze 17%-ot mutatott, addig napjainkra ez a szám megközelíti a 70%-ot (Sárvári 2022). A termésképzésre döntően hat a hőmérséklet, a csapadék, a páratartalom és a megvilágítás körülményei (Kiss 1970). Igényes a talaj kultúrallapotára, a talaj víz – és hőgazdálkodására, a talaj mésztartalmára (Kismányoky 2005). A borsó gyomelnyomó képessége gyenge (Knudsen et al. 2004, Sárvári 2022, Hauggaard-Nielsen et al. 2008), gyomos területen elkerülhetetlen a termésveszteség, aminek mértéke a 46%-ot is elérheti (Syrový et al. 2015). Kifejezetten érzékeny gombás megbetegedésre (Urbatzka et al. 2011, Gollner et al. 2019). A borsó további hátrányos tulajdonsága a gyenge állóképessége (Kismányoky 2005, Bocz 1992). Nincs magdormancia, megdőlés esetén a talajnedvességgel érintkezve a száron lévő hüvely könnyen kicsírázhat. Ez különösen nagy nehézséget okoz a vetőmagtermesztésnél. Mindemellett a fajtajellemzők is jelentős hatással vannak a borsó versenyképességére (Syrový et al. 2015). Kereskedelmi forgalomban a féllevélkés (leafless, vagy afile) típusú borsófajtákat részesítik előnyben (Tafesse et al. 2019, Tran et al. 2022), ahol a felső levélkét kacs váltja fel, így azok egymásba kapaszkodva kevésbé dőlnek meg (Shen et al. 2022). A csökkentett levélfelület hozzájárul a párologtatás legkisebb mértékre való szorításához, és kulcsszerepet játszik a hőstressz toleranciában (Tafesse et al. 2019). Európában a ma használatos borsó fajták több mint 80%-a féllevélkés típusba sorolható (Tran et al. 2022). Az utóbbi években a globális felmelegedés miatt az aszályos évjáratok gyakorisága nő, a csapadék egyenetlen eloszlása eredményeképp gyakran a borsó tenyészidejének első fele aszályos, ami eleve jelentős terméseszkénést okoz (Kismányoky 2005). Bár ma Közép-Európában termesztik a hüvelyes növények legtöbb tavaszi formáját, termőképességük várhatóan csökkenni fog az elkövetkező években az éves középhőmérséklet növekedés, illetve a csapadék mennyiségének csökkenése és a csapadékminta eltolódásának következtében (Neugschwandtner et al. 2020). Ezáltal az olyan őszi vetésű borsófajták kerülnek előtérbe, amelyeknek nincs, vagy kevésbé van hagyománya a mérsékelt övi régióban. Az őszi borsófajták, köszönhetően a hosszabb tenyészidőnek nagyobb termésstabilitással rendelkeznek, és kevésbé függenek a tavaszi vízellátottságtól (Naudin et al. 2009). A tavaszi vetésről az őszi vetésre való átállás egyben túlélési stratégia a légköri aszálytal szemben, mivel az őszi fajták korábban hoznak virágot, hosszabban virágznak, hosszabb a szentelítődési időszak, és nagyobb termést hoznak (Neugschwandtner et al. 2019, Bourion et al. 2003, Nelson et al. 2021). Ezen kívül a tenyészidő kiterjesztésével a kártevők összetétele is változik, mert az egyes fejlődési szakaszok is hamarabb váltják egymást (Naudin et al. 2009). Az utóbbi évtizedben Mikic et al. (2011) őszi vetésű borsó, lóbab és búkköny fajtákkal végzett áttelelési kísérleteket Szerbiában. Meglátása szerint az őszi vetésű egynyári hüvelyesek termesztése a mérsékelt égövi régióban hatékony válasz az éghajlatváltozásra. Az őszi borsófajták egyik stratégiai előnye éppen a koraisága. A betakarítás legalább egy héttel az őszi árpa előtt történik, ezáltal nem szükséges az erőforrások megosztása a kultúrák között. Ezek a kutatások akkor kapnak igazán hangsúlyt, ha egy őszi vetésű hüvelyes növény őszi gabonával együtt kerül elvetésre.

Hazánkban a takarmányborsó túlnyomó részben zöldtakarmány keverékekben fordult elő. Az őszi és tavaszi takarmány keverékeket agronómiai és takarmányozási céllal használták, egyéves áttelelő vagy tavaszi, rövid tenyészidejű fajtákat társítottak össze. Agronómiai előnye a talaj kedvező víz és tápanyagkészletéből adódik, valamint a fű komponens támasztó szerepe által a keverék nagyobb termésbiztonságot nyújt a tiszta vetéssel szemben. Takarmányozás szempontjából előnyös a fehérje: energia arány. Az ún. „zöld futószalag” mára sokat veszített a jelentőségéből, termesztésük évjárat és helyfüggő, emiatt nagyüzemi hasznosítása nem vált megoldhatóvá (Bocz 1992). Kurnik az 1970-es években említést tesz arról, hogy az őszi borsót önállóan magnyerés céljából is vetőmagnak, vagy társnövénnyel, búzával keverten, ritkábban abraknak vetették. Tehát a növénytársítás Magyarországon mind az őszi típus, mind a takarmányborsó esetében sem volt ismeretlen termesztési mód a mezőgazdaság iparosodása előtti években.

5.6 A keverékvetés előnyei

5.6.1 Terméselőny, erőforrás megosztás

A termesztési rendszerek a legtöbb esetben egyetlen genotípusú növény vetésforgóján alapulnak, pedig a fajok sokfélesége egy megbízható koordinációs eszköz (Hauggaard-Nielsen et al. 2008), amellyel megőrizhető a talaj természetes állapota. Az keverékvetés olyan tervezett sokszínűség a térben, ahol alapvető ökológiai elvek gyakorlati alkalmazása történik. Egyik kiemelkedő előnye, hogy a rendelkezésre álló erőforrásokat hatékonyabban használja fel a tiszta vetésű kultúrákhoz képest, ezáltal a termelékenység magasabb, különösen alacsony nitrogén használat mellett (Hauggaard-Nielsen és Jensen 2001, Dhima et al. 2007, Agegnehu et al. 2008). Terméselőnyről akkor beszélhetünk, ha a társnövények az erőforrásokat (fény, a víz és tápanyagok), felvételét követően növényi biomasszává alakítják át, kihasználva a keverék kultúrák jellemvonásait, mint például a lombkorona növekedési sebesség és végleges magasság, fotoszintetikus alkalmazkodás a beérkező fénysugarakhoz, és a gyökeresedési mélység. A terméselőny akkor teljesül, ha a társnövények nem pontosan ugyanazért az ökológiai nicheért versenyeznek, vagyis a fajok közötti verseny gyengébb az adott erőforrásokért, mint a fajokon belüli verseny (Bedoussac és Justes 2011, Pelzer et al. 2012, Hauggaard-Nielsen és Jensen 2001). Rendszerint a társnövények igényei kiegészítik egymást: vagy minőségileg eltérő formájú erőforrásokat használnak fel, vagy ugyanazt az erőforrást használják, de különböző helyen (a társnövények magassága eltérő), vagy időpontban (a társnövények érési ideje különböző) (Corre-Hellou et al. 2006, Ghaley et al. 2005, Bedoussac és Justes 2011). Ökológiai értelemben az erőforrások bizonyos fokú komplementaritása minimális niche átfedést hoz létre, csökkentve a versengést a fajok között, ezáltal azok nagyobb mennyiségű és minőségű erőforráshoz jutnak, mint a monokultúra esetében (Lithourgidis et al. 2011a, b, Andersen et al. 2004, Tosti és Guiducci 2010).

A több fajt ötvöző termesztési rendszerek közül a gabona-hüvelyes növénytársítás lehetőséget nyújt a talajból és légkörből származó nitrogén forrás egyidejű felhasználására (Pelzer et al. 2012). A gabonafélék fejlődésük kezdeti szakaszában gyorsan fejlődő, mély gyökérszerkezetüknek és magas nitrogén igényének köszönhetően jóval versenyképesebbek a hüvelyeseknél (Jensen 1996a, Corre-Hellou et al. 2007, Bellostas et al. 2003). A mélyen gyökerező fajok a talaj mélyebb rétegeiben található vízhez és tápanyagokhoz is képesek hozzáférni, amelyek elérhetetlenek a sekély gyökerű fajok számára (Hauggaard-Nielsen et al. 2001a). A társnövények gyökér szerkezet béli eltérései lehetővé teszik a talaj különböző rétegeinek feltárását (Andersen et al. 2004, Hauggaard-Nielsen és Jensen 2005), a sűrű gyökérszóna hozzájárul a terméstöbblet, az összetett lombkorona szerkezet pedig kedvezőbb mikroklimát alakít ki, növelve a fényelnyelést és csökkenti a párologtatás mértékét (Nelson et al. 2021). A gyökerek körül lévő nitrogénzóna kimerítése rendkívül hamar történik, ezért a gabona gyökérzete jelentős fejlődési előnyt biztosít számára a nitrogénért és a vízért folytatott korai versenyben a többi kultúrnövényhez képest (Corre-Hellou et al. 2007, Thilakarathna et al. 2016). A hüvelyes növények ebben az esetben egyfajta növényi alapú nitrogén bázisként/forrásként működnek a gabona számára (Corre-Hellou et al. 2006, Hauggaard-Nielsen et al. 2003), arra készítetve őket, hogy elsősorban a légköri nitrogén megkötésére támaszkodva fokozzák a nitrogén megkötés mértékét (Ghaley et al. 2005, Hauggaard-Nielsen et al. 2009a, Malagoli et al. 2020) a saját szükségletük kielégítése érdekében (Voisin et al. 2002). A hüvelyes növény által a légkörből megkötött nitrogén aránya tehát magasabb társításban, mint önálló vetésben (Corre-Hellou et al. 2006, Neumann et al. 2007). Az ebből adódó, a növényenként nagyobb mennyiségű ásványi nitrogén elérhetősége kedvezően hat a gabona nitrogén igényének kielégítésére, a kialakult levélfelületére, ennek révén a fényért folyó versenyre, valamint a végső, betakarított termésben a százalékos arányra a keveréken belül (Voisin et al. 2002). A gabona-hüvelyes növénytársítás esetében a talaj nitrogéntartalma változó szintet mutat: magas nitrogén mellett a gabona versenyképessége erősebb, mint a borsóé. Alacsony nitrogéntartalom mellett viszont éppen az ellenkezője teljesül (Bedoussac és Justes 2011, Ghaley et al. 2005, Hauggaard-Nielsen és Jensen 2001). Ezek az eredmények különösen érdekesek az

alacsony nitrogén bevitelű termesztési rendszerekben és ökológiai gazdálkodásban, ahol a talaj csekély ásványi nitrogén tartalma sok esetben korlátozza a nagy nitrogén igényű gabonafélék termesztését (Bedoussac és Justes 2010a, Hauggaard-Nielsen et al. 2003). Ugyanakkor új információkat nyújtanak a hagyományos termesztés számára is abból a szempontból, hogy hogyan csökkentse a maximális terméshozam és a gabona fehérjetartalom elérése érdekében alkalmazott túlzott nitrogén műtrágya mennyiségét (Bedoussac és Justes 2010b).

5.6.2 Csökkent környezeti terhelés

A hüvelyesek természetes nitrogén megkötő képessége által növénytársításban általában nem, vagy csak kisebb mértékű nitrogén műtrágya felhasználás történik. Ez egyben alacsonyabb ráfordítást is eredményez, mivel a nitrogén kijuttatás a termelési költségek jelentős hányadát öleli fel (Pelzer et al. 2012, Dordas et al. 2008). Rendszerint a hüvelyes növények önálló vetésben kevésbé hatékonyak a talaj szervesetlen nitrogénjének feltárásában, mint más egynyári növények, mivel a nitrogén szükségletük jelentős részét a légkörből biztosítják (Hauggaard-Nielsen et al. 2001b). Ezt a jelenséget a szakirodalom tartalék nitrogénhatásnak nevezi (Herridge et al. 1995, Hauggaard-Nielsen et al. 2003). A tápanyagfelhasználás hatékonyabbá tétele és a tágabb környezetükben való veszteség csökkentése érdekében a növényi maradványok lebontásával kapcsolatos ismeretek bővítése szükséges a tápanyag leadás és a termésigény összehangolásának javításához (Jensen 1996b). Hauggaard-Nielsen et al. (2003) szerint tavaszi árpa és borsó növénytársításban az őszi-téli időjárási viszonyok és a könnyen lebomló borsó növényi maradványok a talajban nitrogénvesztést és kevesebb nitrogén maradványt eredményezhet a talajban. Az árpában gyakran alacsonyabb a nitrogénkoncentráció, mint a borsóban, a talaj mikroorganizmusai az árpamaradványok lebontása során mozgósítják a talaj szervesetlen nitrogénjét is, azért hogy kielégíthessék asszimilációs szükségleteiket. Ezzel szemben a borsó növényi maradványok nitrogén tartalma elegendő lehet a mikroorganizmusok számára, vagy pedig nettó nitrogén mineralizációt idéz elő. A hüvelyes maradványok lebomlása során a mineralizáció lassabb lehet, ha nagyobb C: N arányú gabonafélékkel keverednek, mint ha önállóan bomlanak le. Így a növényi maradványok kiegyensúlyozottabb kémiai összetétele kisebb nettó nitrogén mineralizációt eredményezhet a nitrogén kimosódás esélyének csökkenésével. A növénytársítás ez által egyszerre egy lehetséges mód a talaj szervesetlen nitrogén hasznosításának és a társnövények terméspotenciáljának javítására, ugyanakkor minimalizálása a nitrát kimosódás esélyének az őszi és téli hónapokban a kalászos gyökérrendszer és a maradványok kémiai bomlása által.

A különböző természeti erőforrások, különösen a vízkészlet hatékony és átgondolt felhasználása fokozott figyelmet igényel többszörös termesztés esetén (Maitra et al. 2021). Az egyidejűleg termesztett növények a talajnedvességet közösen használják fel, de vízigényük ritkán haladja meg a tiszta állományok szükségletét. A biológiai öntözés jelensége a sekély és mély gyökerű fajok társításában fordul elő. A biológiai öntözés a hidraulikus lift elvén működik, és szerepe a talajnedvesség újraelosztásában rejlik a mélyebben gyökeredző társnövény által. Ekkor a mélyebb rétegekből feltárt vizet nemcsak ugyanez a faj oldalsó gyökerei hasznosítják, hanem a szomszédos növények, így a sekély gyökerű társnövény számára is elérhetővé válik.

A hüvelyes növényekkel való növénytársítás a vízmegőrzésen túl kiváló termesztési gyakorlat a talajerózió visszaszorításában is (Lithourgidis et al. 2011a). Az erősen csapadékos területeken az olyan termesztési módok, amelyek a talajt az év nagy részében műveletlenül, csupaszon hagyják, talajeróziót és nagymértékű vízlefolyást alakíthatnak ki. Ez a folyamat végül olyan szintű minőség romláshoz vezethet, ahol a talaj terméketlenné, és termesztésre alkalmatlanná válik. Növénytársításban a mélyebben gyökeredző társnövény messze lehatol a talajba, feltöri a tömörödött rétegeket, és a talaj mélyéről használ fel vizet és tápanyagokat. Ezzel szemben a sekélyen gyökeredző fajok megkötik a talajt a felszínen, ezáltal csökkentik az erózió veszélyét és segítik a talaj levegőztetését.

Napjainkban, ahol a szélsőséges időjárási jelenségek egyre növekvő számban vannak jelen, az éghajlatváltozás negatív hatásai folyamatosan próbára teszik kultúrnövényeink ellenálló

képességét (Jolánkai és Birkás 2007). Magyarországon, és tágabb értelemben a Kárpát-medencén belül két jelenség figyelhető meg: a hőmérséklet fokozatos növekedése 1°C nagyságrendben és az évi csapadékmennyiség negatív irányú változása. Összességében ezek a változások a nyári száraz időszakok gyakoriságát vetítik elő, amelyet klímaváltozási forgatókönyvek előrejelzései is megerősítenek, ezáltal hazánk éghajlata egyre inkább mediterrán jellegűt ölthet. Várhatóan hosszútávon csak az olyan termesztési módok maradnak fenntarthatók, amelyek folyamatosan képesek alkalmazkodni a megváltozott termesztési körülményekhez, és enyhíteni tudják a szélsőséges meteorológiai jelenségek hatásait. Az klímaváltozásra való felkészülés– az éghajlati tényezőktől eltekintve– történhet a földhasználat, a talajművelés, a termesztéstechnológia, a fajválasztás és vízellátás területén, amelyekre képesek vagyunk hatással lenni. Az aszály jelentkezése minden esetben termés kiesést okoz, a különbség csupán a mértékében mutatkozik meg. Az alkalmazkodási stratégiáknak mindenképpen átfogó szemlélettel kell bírniuk, figyelembe véve a gazdasági és éghajlati szempontokat, a klímaváltozásra adott válasz ekképpen fajta és régióspecifikus (Gaál et al. 2014). Növénytársítás esetében az előbbieken említett feltételekből egyszerre több is teljesül: növeli a betakarított növény terméshozamát és minőségét, ökológiai szolgáltatásokat nyújt, javítja a termelési rendszerek éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodó képességét és nagyobb ellenállást tesz lehetővé biotikus és abiotikus stressz hatásokkal szemben (Bedoussac et al. 2015).

5.6.3 Magas termésstabilitás és állóképesség

A jobb erőforrás felhasználás következtében a növénytársítás terméshozama egyes esetekben meghaladhatja a társnövények önálló vetésben való hozamösszegét (Hauggaard-Nielsen és Jensen 2005, Pelzer et al. 2012), a tápanyag komplementaritás a fő tápanyagok (foszfor, kálium, kén) és egyéb mikroelemek felhalmozódását fokozhatja, ezáltal jobb gyökerező képességet és talajtakarást, és hatékonyabb vízfelhasználást ér el keverékként (Midmore 1993, Hauggaard-Nielsen et al. 2009a). A hatékony növénytársítás kialakításában elengedhetetlen a társnövények kiválasztásakor azok időbeli, vagy térbeli versenyképességének ismerete, ahhoz hogy meghatározható legyen mikor, milyen vetéssűrűségben, és milyen elrendezésben kerüljenek a kísérleti parcellák kialakításra. Fukai és Trenbath (1993) kutatásai kimutatták, hogy a társnövények akkor a legtermékenyebbek, ha a növekedési ütemük eltér egymástól. Az erőforrások eltérő igénye biztosítja, hogy a lassabban fejlődő társnövény felépülhessen a korai fejlődésű társnövény által okozott esetleges károkból, ez teljesül például a magasság, illetve az ebből adódó fénykihasználás esetében a tenyészidőszak során. Ezzel szemben, ha a társnövények növekedési fázisa megegyezik, a tápanyag igény maximuma rendszerint azonos időben jelentkezik, és a versengés a limitált erőforrásokért óhatatlanul intenzívvé válik. Ekkor a társítás előnyei nem olyan szembetűnők, mint a különböző növekedési idővel rendelkező növények esetében, és a társnövények kapcsolata egy széles skálán mozoghat a jelentős és az egészen negatív kategória között.

A növénytársítás népszerűségének egyik fontos oka a fejlettebb országokban a termésstabilitás, ami a monokultúra esetében nem mindig áll fenn (Hauggaard-Nielsen et al. 2009b). Ez a termésbiztonság a biológiai sokféleség részleges helyreállításának tulajdonítható (Duchene et al. 2017), amely a mezőgazdaság iparosodása során veszett el a vetésszerkezet leegyszerűsödése által (Gaba et al. 2015). Ebből a szempontból a társítás biztosítja a termés kiesés ellen, különösen olyan szélsőséges időjárásnak kitett területeken, mint a fagy, aszály és belvíz, összességében nagyobb pénzügyi stabilitást jelent a gazdálkodók számára, mint egy növénykultúra termesztése (Lithourgidis et al. 2011a). Egyetlen növénykultúra könnyen sérülhet a kedvezőtlen körülmények következtében, a gazdálkodók a teljes termés kiesés veszélyét csökkenthetik azáltal, hogy több növényt termesztenek a tábláikon. Következésképpen, ha a keverék egyik növény termése tönkremegy, a másik növény betakarítására még van esély (Anil et al. 1998). Több növény egyidejű termesztésével a gazdálkodók jobban tudnak alkalmazkodni a felvevő piac ingadozó áraihoz, ami kiszámíthatóbbá teszi jövedelmüket. Hosszú tenyészidő esetén a későn érő

társnövény bőségesen ki tudja használni a lehetséges erőforrásokat, míg ha a tenyészidő rövid, a korai érésű társnövény tud megfelelő termést adni. A különböző tenyészidőszakok így meg tudják fordítani a termesztés eredményességét, amire önálló vetésben nincs lehetőség.

A növénytársítás egyfajta rezisztenciát jelent a megdőlésre hajlamos társnövény esetében azáltal, hogy a gabona fizikai támaszt nyújt a gyengébb állóképességű hüvelyes növény számára (Pelzer et al. 2012, Bedoussac et al. 2015). A megdőlésből adódó károsodás jelentős része a fellépő betegségeknek és mechanikai sérüléseknek tulajdonítható, míg a magasság elvesztése a fényelnyelés hatékonyságának csökkenését vonja maga után (Lithourgidis et al. 2011a). A gyenge állóképességű növények számára különösen lényeges az álló helyzetben maradás, mert a szélben, vagy heves eső által megdőlt növény kevésbé vesz részt a fotoszintézisben és a tápanyagok szállításában. Ezen kívül az elfekvő növények lassíthatják a betakarítást és termésvesztéssel járhatnak (Fujita et al. 1992). A jobb állóképesség magasabb hozamot, jobb termésminőséget és a betakarítás menetének könnyítését eredményezi. A hüvelyesek érzékenyek a leárnyékolásra, ami vékonyabb és kevésbé szilárd szárat eredményez. A fotoszintézis szempontjából aktív terület kisméretű csökkenése kevésbé hangsúlyos egyetlen kultúra termesztése esetén, de növénytársításban komoly hátrányt jelent a társnövények közötti versenyhelyzetben (Rauber et al. 2001). A társnövények egymástól eltérő magassága az erőviszonyok eltolódását idézheti elő az egyik résztvevő faj számára. A felfogott fény mértékét a társnövények termésgeometriája és a lombzat felépítése is befolyásolhatja (Fujita et al. 1992).

5.6.4 Gyomelnyomóképesség, versenyképesség fokozása

A legtöbb hüvelyes növény gyenge gyomelnyomó képességgel rendelkezik, és a gyomfertőzöttség súlyosan korlátozza a növények a nitrogén ellátottságát és terméshozamát (Corre-Hellou et al. 2011, Bedoussac et al. 2015). Ökológiai gazdálkodásban, ahol a növényvédőszer használata nem engedélyezett, a gyomirtást elsősorban a kultúrnövény és a gyomok közötti versengés egyensúlyának megváltoztatásával lehet megoldani, olyan intézkedések segítségével, mint a vetésforgó betartása, a megfelelő növényfajok, vagy a parcellák elrendezésének megválasztása (Lithourgidis et al. 2011a). A gyomok sűrűsége és biomassza termelése azonban jelentősen csökkenhet a növénytársítás alkalmazásával is, és lehetséges alternatívát nyújt arra, hogy csökkentse a gyomirtószer használatától való függőséget (Poggio 2005, Bedoussac et al. 2015, Louarn et al. 2021). A gyomszabályozás kulcskérdés társítási termesztési rendszerekben, mivel a kémiai védekezést nehéz a már meglévő kultúrában elvégezni (Lithourgidis et al. 2011a, Banik et al. 2006). Keverékvetés esetén rendszerint egy kétszikű növényfajt egy egyszikű növénnyel kombinálnak, emiatt a gyomirtószer használata igen sok kérdést vet fel. A növénytársítások eleve rendelkeznek némi gyomelfojtó hatással, amely kétféle módon is érvényre juthat: a társnövények hatékonyabban használják fel az elérhető erőforrásokat, mint a gyomnövények, vagy pedig a gyomok növekedését allelopátiával szorítják vissza (Liebman és Dyck 1993). A legtöbb kutatás a gyomok sajátos jellemzőinek tanulmányozására irányul, és elsődlegesen a kultúrnövény-gyom közötti versengéssel foglalkozik. Csupán néhány tanulmány tekinti társulásnak a kultúrnövény és gyomfajok teljes egészét (Poggio 2005), holott a növénytársítás egyaránt módosíthatja a gyomközösség fizikai megjelenését, és a gyomfajok rangsorát. Egy adott környezethez nem feltétlenül a teljes faj, pusztán egy-egy növényi tulajdonság igazodik. A borsó és a búza monokultúrákban a télen és tavasszal kelő gyomok relatív gyakorisága között jelentős eltérések vannak, amelynek oka a növények egymástól eltérő erőforrás felhasználás mintázatában keresendő. Mohler és Liebman (1987) árpa és borsó keverékvetésben megfigyelték, hogy a későn megjelenő gyomfajok megtelepedését erősen befolyásolta a növények között fennálló verseny intenzitása, kézenfekvő tehát a feltételezés, hogy a nitrogénért és a fényért folyó versengés mértéke a keverék és a gyomok között is szerepet játszhat a gyomközösség szerkezetének módosulásában. A kultúrnövények terméshozamának növekedésével a domináns gyomfajok relatív gyakorisága csökken a többi gyomfajhoz képest. Az így létrejött dominancia rangsor által a társított kultúrnövények biomasszájának növekedésével a szelektív gyomelnyomás

is nőtt, és módosította a gyomfajok közötti biomassa eloszlását. Számos tanulmány igazolta, hogy növénytársításban rendszerint csökken a gyomnövekedés (Hauggaard-Nielsen et al. 2006, Bedoussac és Justes 2011), ugyanakkor fontos tényező, hogy a gabona társított és a tiszta kultúrában is gyakran hasonló versenyképességet mutat gyomok ellen (Hauggaard-Nielsen et al. 2001b). Ennek alapja a gabona viszonylagos sűrű vetése és a magasabb nitrogén igényéből fakadó kezdeti fejlődési előny (Jensen 1996a, Andersen et al. 2004). Növénytársításban a gyomnövények kisebb arányú megtelepedését és növekedését a legtöbb esetben a társnövények hatékony erőforrás kihasználására vezetik vissza (Corre-Hellou et al. 2011). Egyes szerzők úgy vélik, hogy mind a gyomok, mind a kultúrnövények elsősorban föld feletti erőforrásokért versenyeznek, és a gyomelnyomás a társítás megnövekedett közös biomasszájának és fényelnyelésének köszönhető (Baumann et al. 2000, Poggio 2005). Habár bizonyítottan a gyökérszónában folyó verseny hatása sokkal erősebb a föld feletti versengés hatásánál (Wilson 1988), mindamellett hogy a fény és a talaj tápanyagellátottság között szoros kapcsolat áll fenn. A fénykedvelő gyomok jelenlétét legalább részben módosíthatja a társnövények eltérő talajnitrogén felvevő képessége. Magasabb nitrogénellátottság esetén a társításban domináns faj (kultúrnövény, vagy éppenséggel gyomnövény) megnövekedett levélfelülete fokozza a fényelnyelés hatékonyságát, egyúttal leárnyékolja az alárendelt növényeket (Corre-Hellou et al. 2006, Andersen et al. 2004). Bár növénytársításban a hüvelyesek és gabonafélék is a talaj szervesetlen nitrogénforrását használják fel, a hüvelyesek légköri nitrogén megkötése által a társnövények általában egyensúlyba kerülnek a teljes nitrogénfogyasztásban. A talaj nitrogénkészletének hatékonyabb kihasználása redukálja a felvehető nitrogén mennyiségét, és ez által a gyomok versenyképességének csökkenését idézi elő (Hauggaard-Nielsen et al. 2001b).

5.6.5 Kártevők és kórokozók mérsékelt jelenléte

A növénytársítás egyik fontos jellemvonása, hogy képes hatni a növényevő ízeltlábúak (főként rovarok és atkák), és növényi kórokozók jelenlétére a keveréken belül. Ez azonban egy nagyon összetett folyamat, egyszerre hatékony és káros hatásokat is megfigyeltek. Keverékvetésben a társnövényeket gyakran kevésbé károsítják különféle kártevők és kórokozók a tiszta vetéshez képest (Maitra et al. 2021), ugyanakkor a védekezés hatékonysága gyakran kiszámíthatatlan (Trenbath 1993). Ez az állítás összhangban van Lithourgidis et al. (2011a) vizsgálataival, ahol a 150 publikált tereptanulmány több mint felében tapasztaltak kártevő létszám csökkenést, a többi esetben gyakoribb volt a kártevő jelenlét vagy nem volt különbség a tiszta és a társított kultúrák között, vagy az eredmény egymástól eltérő értékeket mutatott. A kártevők visszaszorításra gyakorolt– többségében pozitív– hatásban szerepe lehet az olyan mechanizmusoknak, amelyek a biológiai sokféleségből adódnak. Lopes et al. (2016) magát a folyamatot asszociációs rezisztenciának nevezi. Ilyen mechanizmus például a kártevők azon képessége, hogy megtalálják a gazdanövény illatát, ez azonban nem érvényesül, ha a nem gazda társnövényből származó illékony anyagok elfedik őket, vagy a gazdanövény illata megváltozik a szomszédos fertőzött/ nem fertőzött növény illékony anyagainak és gyökérváladékainak elnyelése által. A növénytársítás hatással lehet a gazdanövény minőségére (a nem gazda társnövény vonzóbb, vagy éppen hogy taszító) és vizuális elhelyezkedésére is (színesebb, és /vagy magasabb nem gazdanövény), ezáltal elrejt, vagy éppen fizikai gátat vet a kártevőkkel szemben Ezek a mechanizmusok közvetlen hatást gyakorolnak a kártevők gazdanövény keresési viselkedésére, valamint közvetve hatással vannak a gazdanövény fejlődési ütemére és a természetes ellenséggel való kölcsönhatásukra is (Lithourgidis et al. 2011a). Túlsúlyban vannak azok a tanulmányok, amelyekben a kultúrnövények egyidejű termesztése során inkább növekszik a ragadozók és paraziták előfordulása a társításon belül, gátolva a kártevők betelepülését, és ez által legkevesebbre csökkentve a rovarirtó szerek alkalmazásának szükségességét. A rovarkártételek súlyosbodása a legtöbb esetben a természetes növényzet rovására kialakított monokultúrák elterjedésével hozható összefüggésbe, mely által az élőhelyek diverzitása is csökkent. Ez a megállapítás tökéletesen megegyezik Andow (1991) vizsgálatával, ahol 209 tanulmányban a monokultúrához képest a növénytársítások több mint

felében kevesebb kártevő fordult elő, és mindössze 15 %-ban volt magasabb kártevő létszám. Ezen felül a vizsgált kártevők 60%-a monofág, míg csupán 28%-a polifág életmódot folytatott. Tehát ilyen értelemben a vetésszerkezet leegyszerűsödése befolyásolhatja a természetes ellenségek előfordulását és hatékonyságát, amely az elérhető erőforrások esetében az élőhelyének összetettségétől függ. Egy monokultúrához képest, ha több növényfajt adunk a termesztési rendszerhez, az kétféle képpen hathat a növényevő fajokra: elsősorban a gazdanövények környezete, mint például a szomszédos növények, illetve mikroklimatikus viszonyok változnak meg, vagy pedig a gazdanövények minősége, úgy, mint morfológiája, és kémiai összetétele alakul át (Lithourgidis et al. 2011a). A társítás mikroklímájáról kevés adat áll rendelkezésre, ugyanakkor ezek az ismeretek alapvető fontosságúak a társnövények betegségének kialakulására gyakorolt hatásának megértéséhez, így a betegség-előrejelző rendszerek, illetve kezelési módszerek értékelésére irányuló szimulációs modellek fejlesztésére.

A növénytársítás hatékony eszköznek bizonyult a kórokozók leküzdésében is. A keverékek a betegséget hordozó spórák terjedésének csökkentésével és a környezeti feltételek módosításával késleltethetik a betegségek megjelenését, hogy azok kevésbé kedveznek bizonyos kórokozók elterjedésének (Lithourgidis et al. 2011a). Több mechanizmus kombinációja tartós védelmet tesz lehetővé a gabonanövények számára gombás megbetegedések esetén. Trenbath (1993) a keverékek magasabb terméshozamát a tiszta vetésekhez képest a kórokozók elleni fajspecifikus védelemmel magyarázza. Az érzékeny, inreiszstens társnövény terméshozama így többszöröse lehet társításban, különösen, ha a támadó szervezet szűk gazdakörrel rendelkezik. Borsó és árpa társítás esetén megfigyelték, hogy a borsón aszkohitás levélfoltosságának (*Ascohyta pisi*) szintje csökkent, csakúgy, mint az árpa helmintospóriumos levélfoltossága (*Pyrenophora teres*), árpa törperozsda (*Puccinia recondita*) és lisztharmat (*Blumeria graminis* f. sp. *hordei*) előfordulása a zászlóslevél megjelenés és kalászosítás közötti időszakban (Kinane és Lyngkjaer 2002). Schoeny et al. (2010) szerint a növénytársítás semmilyen hatással nem volt a borsó aszkohitás levélfoltosságának megjelenésére, ugyanakkor a betegség súlyosságának csökkenését észlelték a járvány közepes, illetve súlyos jelentkezése esetén. A betegség csökkenését egyrészt a társnövény lombkoronáján belüli mikroklíma módosulására vezették vissza, különös tekintettel a levelek nedves időszakának csökkenésére a virágzás alatt és után. Másrészt pedig a gazdanövények sűrűségének csökkenésével, és a nem gazdanövények gátló, illetve közvetítő szerepével magyarázták. Borsó, bab, csillagfürt árpával való társításban Hauggaard-Nielsen et al. (2008) általánosan 20-40%-kal kevesebb kórokozó előfordulást tapasztaltak a tiszta vetésű gabonához képest. A kórokozók terjedési mechanizmusa és típusa, valamint a kultúrnövények magassága és felépítése azonban egymástól jelentős eltérést mutatott. Az árpa helmintospóriumos levélfoltosság (*Pyrenophora teres*) fertőzöttségi szintje a hüvelyes összetevő relatív arányának növelésével egyenletesen csökkent. Míg a csillagfürt barna levélfoltossága csaknem 80%-kal kisebb arányban volt jelen növénytársításban. Mindezek alapján feltételezhető, hogy növénytársításban a társnövények komplementaritása nemcsak az erőforrások megosztására, hanem a növényegészségügyre is hatással lehet. A betegség hátterében álló mechanizmusok ismerete nélkül ugyanakkor korai a kutatások jelenlegi fázisában bármilyen kijelentést tenni melyik növény-betegség kombináció nyújtja a legnagyobb védelmet az előforduló betegségek ellen.

5.7 A keverékvetés hátrányai

5.7.1 A gyakorlati megvalósítás nehézségei

Az egy növényre specializálódott termesztési rendszerben minden egyes növény hasonló tulajdonságokkal rendelkezik, és ugyanazokat az erőforrásokat használja. A külső ráfordítások, mint a műtrágya és a víz, magas beviteli aránya mellett képesek a biomassa növelésére. Ebben az esetben a fajok közötti verseny csökkenthető a növényállomány sűrűsége és a kísérleti elrendezés által. Ezzel szemben a növénytársítás, és ezen belül a keverékvetés termésnövelő hatása a társnövények között fellépő kölcsönhatásokon alapul, alacsonyabb víz és tápanyagbevitel mellett

(Gaba et al. 2015). Terméstöbblet jellemzően akkor jelentkezik, ha a társnövények közötti kölcsönhatások többségében komplementer jelleget mutatnak. Ebben az esetben a részt vevő fajok vagy különböző minőségű erőforrásokat használnak fel, vagy pedig ugyanazokat a forrásokat használják, de egymástól eltérő időben/térben (Corre-Hellou et al. 2006, Ghaley et al. 2005, Bedoussac és Justes 2011). Ökológiai szempontból az erőforrások megosztása minimalizálja a niche átfedést (Tosti és Guiducci 2010), a megfelelő fajok, illetve fajták kombinációja jelentős mértékben csökkenti a versengést, és maximalizálja a komplementaritást a társnövények között (Raza et al. 2023). Más szavakkal élve, a fajok közötti verseny egy adott erőforrásért kisebbé válik, mint a fajokon belüli versengés (Bedoussac és Justes 2011, Pelzer et al. 2012, Hauggaard-Nielsen és Jensen 2001). Ugyanakkor érdemes megjegyezni, hogy a társnövények között fennálló kölcsönhatás a fejlődésmenetek egyes szakaszaiban folyamatosan változik, a keverék egyedsűrűsége és tápanyagkörnyezete erősen befolyásolhatja a versengés, vagy az együttműködés mértékét (Caballero et al. 1995, Connolly et al. 1990). A kompetíció és a komplementaritás egymást nem kizáró kölcsönhatások. Egy időben, de különböző mértékben is jelen lehetnek a társításon belül (Justes et al. 2021). Mindamellet a versengés egyike azon tényezőknek, amely jelenléte erősen befolyásolja a társnövények növekedését és a végleges terméshozamát (Kherif et al. 2021, Agegnehu et al. 2008). A társnövények közötti kölcsönhatás egy nagyon érzékeny és összetett jelenség (Hauggaard-Nielsen et al. 2008, Corre-Hellou et al. 2006, Bedoussac és Justes 2011), a jelenlegi ismeretek szerint kiegyensúlyozott keverék kialakítása éppen az interakciók kiszámíthatatlan végkimenetele miatt nagy kihívást jelent a kutatók számára (Dordas et al. 2012).

A számtalan lehetséges előnye ellenére az éghajlatnak megfelelő növénytársítás megvalósítása kihívást jelenthet, mivel egyedi kezelést és finomítást igényel minden egyes területen, amely magában hordozza a többszörös próbálkozás és hibázás lehetőségét (Huss et al. 2022). A szántóföldi diverzifikációba fektetett idő és erőforrás önmagában nem garantálja a termés sikerét és a terméselőnyt (Tamburini et al. 2020). Több növény egyidejű vetése, termesztése, műtrágyázása, növényvédelme és betakarítása bonyolultabb ugyanazon a területen (Lithourgidis et al. 2011a, Anil et al. 1998), növeli a munkaerő költséget, és kevésbé kompatibilis a nagyüzemi gépesített gazdálkodással (Feike et al. 2012). Az azonos érési idejű társnövényeket egy menetben is be lehet takarítani, majd ezt követően szelektálni. A vetőmag veszteség elkerülése azonban problémát jelent azoknak a termelőknek, akik csökkenteni szeretnék a ráfordítás mértékét a gazdaságukban. A betakarítás szempontjából a keverékvetés inkább a nem gépesített betakarítási rendszerekhez hasonlít. A fejlődő országokban a kézi munkaerő sokkal nagyobb mértékben és olcsón áll rendelkezésre, emiatt a gazdálkodók számára szükségtelen drága és széles választékú géppark kialakítása. Ebben az olvasatban ezeken a területeken nincs korlátja a növénytársításnak (Maitra et al. 2021). Ezzel szemben az erőteljesen iparosodott országokban éppen ebből kifolyólag a növénytársítás nagy léptékű kialakítását kivitelezhetetlennek, vagy éppen kevésbé hatékony termesztési módnak tartották. A felvetett problémák azonban jelentősen függenek a gépesítés mértékétől (Tosti és Guiducci 2010). A keverékvetés a legtöbb esetben nem több növény véletlenszerű keveréke, hanem egy előre tervezett elrendezés alapján történik. Például, a sávos típusú társítás esetében a növényeket szélesebb sávban, több sorban termesztik, ami enyhítheti a betakarítással járó nehézségeket a már meglévő gépek használatával (Feike et al. 2012). Ugyanakkor a növénytársítás előnyei csökkennek a sávokon belül a társnövények közötti távolság végett.

Az utóbbi években a kutatók az ökológiai eszközökkel történő gyomirtás összetett problémájával szembesülnek, kellő figyelmet fordítva a lehető legkevesebb növényvédőszer használatára a környezetet legkevésbé terhelő módon (Banik et al. 2006). Borsótermesztésben a termesztési költségek közel 30%-át a gyomirtás öleli fel, és a gyomok jelenléte jelentős termés kiesést és minőségi romlást okoz a kultúrában (Iliana et al. 2021, Abdallah et al. 2021). A gyomirtószer választás bármely növényi keverékben azonban igazi kihívást jelent a gazdálkodók számára (Banik et al. 2006), különösen abban az esetben, ha egy egyszikű növényt egy kétszikűvel párosítanak (Lithourgidis et al. 2011a). Erősen gyomfertőzött területen a megnövelt vetésmennyiség és a megfelelő fajtaválasztás növelheti a borsó versenyképességét a gyomokkal

szemben (Lemerle et al. 2006, Karkanis et al. 2016), ilyen értelemben a növénytársítás ugyanezen az elven működik a vetéssűrűséget illetően. Az Európai Unión belüli kevés engedélyezett hatóanyagnak köszönhetően a megmaradt növényvédőszerek kevésbé nyújtanak védelmet, növelve a herbicid rezisztens gyomok arányát és az ajánlott dózis mellett marginális szelektivitást idéznek elő (Ilin et al. 2021, Vasilakoglou et al. 2013). Növénytársításban a gyomok elleni védekezésben egyaránt hangsúlyt kap a gyomirtó szer kijuttatási ideje, a permetezés során megfelelő cseppméret választása és az esetleges osztott kijuttatás lehetősége, amely csökkentheti a terméskárosodást mértékét (Jensen 1992).

A megfelelő fajtaválasztás és azok kombinációival való kísérletezés egyike azoknak a lehetőségeknek, amelyekkel a társítás hatékonysága jelentős mértékben növelhető (Maitra et al. 2021, Nelson et al. 2021). Az elmúlt évtizedekben a fajtanemesítés középpontjában a monokultúra termesztése állt (Pankou et al. 2022), ezek a fajták azonban nem feltétlenül voltak alkalmasak növénytársításra, mivel gyakran a tiszta vetéstől eltérően viselkedtek (Hauggaard-Nielsen és Jensen 2001). Az alkalmazott fajta és a szomszéd növény között fennálló kölcsönhatás keverékben a teljesítmény változását idézte elő, amelyet Pankou et al. (2022) helyi szelekciós nyomásnak tulajdonított. Míg a legtöbb kutatás a növénytársítás hatékonyságát a társnövények egymást kiegészítő igényeiben látják (Hauggaard-Nielsen et al. 2009a, Brooker et al. 2015, Bedoussac és Justes 2010a, Monti et al. 2016), a fentiek alapján látható, hogy a megfelelő fajtakombináció és a társítás szempontjából előnyös tulajdonságok megtalálása ugyancsak lényeges feltétel a magasabb hozam eléréséhez. A fajtakombinációk jelentőségét emelik ki Lithourgidis et al. (2011a) is, mely szerint gondos tervezésnek kell megelőznie egy társítás összeállítását, figyelembe véve a terület környezeti feltételeit és a rendelkezésre álló fajtákat. Lóbab kukoricával való társítása esetén a teljes biomassa, a szemtermés és a nitrogén felvétel is jelentősen megnőtt, míg búzával való párosításban a termelékenység csökkenését idézte elő. Mindez azt mutatja, hogy a hüvelyes növény termelékenysége nőhet, de ugyanakkor csökkenhet is növénytársításban a társnövénytől függően. Ugyanezt erősíti meg Hauggaard-Nielsen és Jensen (2001) tavaszi árpa és borsó keverék kísérlete alapján, ahol a borsófajta választása nagyobb mértékben határozta meg maga a társítás teljesítményét, mint az árpafajta. Vagyis a végtermés szempontjából a társnövények versenyképessége a döntő. A monokultúrában hasznosnak tartott növényi tulajdonságok nem szükségszerű, hogy társításban is kívánatosak legyenek. A növénytársítás számára elsősorban azok a tulajdonságok járnak előnnyel, amelyek a komplementaritást erősítik a társnövények között, és minimumra csökkentik a versengés lehetőségét. A szelekciós feltételeknek tehát nemcsak egy adott tulajdonságnak a célnövény terméshozamára gyakorolt hatását kell figyelembe venniük, hanem annak a társnövényre ható esetleges hatását is. Ez alapján a szelekciós feltételek rendszerint a növénytársítás számára más tulajdonságokat helyeznek előtérbe a monokultúrához képest. Ilyen például a megdőlésre való hajlam, amely elkerülendő borsó tiszta vetésben, de kevésbé kap hangsúlyt társításban, ahol a gabona támasztékul szolgál a borsó számára. A gyakorlatban a növénytársítás számára való nemesítés egy bonyolult folyamat, köszönhetően a résztvevő fajok közötti kölcsönhatás, a fajtajellemzők, az agronómiai gyakorlatok és a befektetett pénz szempontjainak (Lithourgidis et al. 2011a). A növények, állatok és mikroorganizmusok közötti kölcsönhatások olyan finomak és egyedi az adott helyre vonatkozóan, hogy a korábbi kísérletek eredményei csupán útmutatást adhatnak a termelők számára. Következésképp egy adott kísérleti helyen a lehetséges növénytársítás évenkénti ismétlése szükséges, még akkor is, ha a való életben nem a biológiai, hanem a gazdasági előny dönti el, hogy melyik termesztési rendszert választják ténylegesen.

A növénytársítással kapcsolatos ismereteink folyamatosan bővülnek. Mindazonáltal a növénytársítás a fejlett országokban a jövőben akkor válhat értékes termesztési rendszerré, ha az általa nyújtott előnyök ellensúlyozzák a többlet költségeket, és mérséklék a jelenleg fennálló problémákat (Anil et al. 1998).

5.7.2 Termésszelektálás, értékesítési problémák

Növénytársításban a kijuttatott műtrágya mennyiségek és a növényegészségügyi kezelések megtakarítása ellenére a gabona és hüvelyes növény keverék előállításának költsége továbbra is magas marad (Banik 1996). Ez köszönhető egyfelől a tényleges ráfordítások emelkedő árának (úgy, mint vetőmag, műtrágya, növényegészségügyi kezelések), valamint a vetés, aratás és a betakarítás utáni természelektálás költségeinek (Mamine és Farés 2020). A kombinált betakarítás után a társított növényfajok megfelelő szelekciója kulcsfontosságú feladat, mivel ennek hatékonysága határozza meg, hogy a betakarított termés közvetlen emberi fogyasztásra és esetlegesen magasabb áron is értékesíthető-e, vagy csak állati fogyasztásra alkalmas (Bedoussac et al. 2015). A természelektálás jelentős többlet költséggel jár a termelő számára, nem beszélve a szárítási és tárolási műveletekkel kapcsolatos beruházásokról (Lithourgidis et al. 2011a, Altieri 1993, Pankou et al. 2021). A vetőmag felvásárló és forgalmazó cégek szempontjából a társításban termelt fajtákkal szemben a legfőbb akadály, hogy van-e befogadóképességük nagy mennyiségű tételek hatékony, gyors és olcsó válogatására. Ez a gépválasztás, és beállítás szempontjából is lényeges kérdés. Előnyt élvez a borsó esetében az egy menetes betakarítás, amely ugyan nagy figyelmet és pontos munkát igényel, de gazdaságosabb, és a betakarítási veszteségek a kétmeneteshöz képest a felére csökkenthetők (Bódis 1983). Emellett a betakarítás gépeinek kihasználtsága és szabaddá tétele is befolyásolja a növénytársítás alkalmazását. Technikailag lehetségesnek tűnik két faj termésének elkülönítése, feltéve hogy a magok mérete és formája különbözik, ugyanakkor mindig marad olyan frakció, amely nem választható szét (Bedoussac et al. 2015, Mamine és Farés 2020). A másik fontos szempont, hogy a keverék minél kevesebb tört szemet tartalmazzon, amely elsősorban a betakarítási feltételek és a kombájn beállításának függvénye. Ezért több növény kombinációjánál előnyös az azonos érési idejű fajok választása. A kombájn beállítása ekkor a sérülékenyebb fajokhoz történik, ezáltal a kíméletes csépelés, vagy az axiális kombájn használata kedvező e fajok számára. Ez a beállítás azonban azzal a kockázattal jár, hogy a könnyen csépelhető gabonatermés egy része teljesen elvész. Ezzel szemben a takarmány előállítása céljából vetett növénytársításban kevésbé okoz problémát a szelektálás, mivel a durva válogatás, vagy a takarmány adag könnyen korrigálható a betakarított keverék egyik, vagy másik alkotóelemének hozzáadásával (Altieri 1993, Monti et al. 2019). A tárolás hatékonysága a tárolt termés jellegétől függ: a gabona hüvelyes keverék nem tárolható olyan mértékben, mint a tiszta vetés. A silókban a mikotoxin előfordulás nagyobb kockázata miatt a lehető leggyorsabb válogatás szükséges (Mamine és Farés 2020).

Az értéklánc a gabona-hüvelyes növénytársítás számára való kiépítése technikai (fajtaválasztás, növényegészségügyi problémák, szelektálás, tárolás), gazdasági (költségek, piaci lehetőségek és szerződések), és szakpolitikai (állami támogatások, ösztönzők) akadályokkal néz szembe, amelyek hozzá járulhatnak a lassú és nehézkes elterjedéséhez a mérsékelt övi régióban (Mamine és Farés 2020). Az értékláncok logisztikai szervezése nem biztosítja óhatatlanul az integrálódását az új termékeknek a piacon. Ennek magyarázata, hogy a gazdaságilag és a tudományban érdekelt felek stratégiájukat a hagyományos vetőmag piac követelményeinek megfelelően határozzák meg. A tudományos kutatások a növénytársítás hatékonyságának javításával, valamint a magas minőségi értékkel fémjelzett vetőmag olyan piaci rést tölthet be, amely lendületet adhat ennek az innovatív termesztési mód fejlődésének.

5.8 Termésmennyiség alakulása keverékvetésben

5.8.1 Nitrogén műtrágyázás hatása a termésmennyiségre

Ökológiai gazdálkodásban a növénytársítás által a termésmennyiség rendszerint nő. A keverék teljes szemtermése (vagyis a gabona és a hüvelyes növény termése együttesen) ekkor magasabb, mint a társnövények termésátlaga tiszta vetésben (Bedoussac et al. 2015). A társítás előnyei általában jobban érvényesülnek alacsony ráfordítással bíró termesztésben, mint a hagyományosan trágyázott rendszerekben. Ha a fejlődés korai szakaszában kevés ásványi nitrogén áll

rendelkezésre (a csekély mértékű műtrágya, vagy annak elhagyása miatt) az előveteményben, a társnövények között erős komplementaritás mutatkozik különösen a nitrogén felvétel tekintetében (Bedoussac és Justes 2010a). A hatékony nitrogén felhasználás társításban nagyobb nitrogén felvételt biztosít a búza számára, amely főként a szemtelítődés idején szembetűnő a borsó magas nitrogén megkötési arányának és a tiszta vetéshez mérten kevesebb búzanövény, kalász és szem egységnyi területre vetített mennyiségének köszönhetően.

Azokban a társításokban, ahol nitrogén műtrágyázást is végeznek, a búza követett profitálása a nitrogéntrágyázásból a fokozott növekedésben mutatkozik meg, ami jobb fény és vízmegkötő képességet eredményez számára. Ez azonban gátolja a borsó növekedését (Ghaley et al. 2005). A búza termése erősen függ a nitrogén ellátottságtól, következésképpen a nitrogén trágyázás a búzahozamra gyakorolt erős termésmenővelő hatása miatt növelte a növénytársítás össztermését, ami meghaladta a borsótermés csökkenését. Így a teljes keverék terméshozama legalább akkora volt, mint a tiszta vetések hozama, kivéve, ha nagy mennyiségű nitrogén trágya került alkalmazásra (Bedoussac és Justes 2010b). Ugyanezt a gondolatot emeli ki Bedoussac et al. (2015) összefoglaló munkájában is, ahol a nitrogén műtrágya használat következtében minél jobban nőtt a kalászos szemtermés a társítás során, annál kevesebb termést hozott a hüvelyes növény, ami arra enged következtetni, hogy létezik egyfajta kompromisszum a két terméshozam között. A domináns növény mindig biztosít annyi függetlenséget az elnyomott növény számára ahhoz, hogy az minimális mennyiségű termést hozzon. A nitrogén műtrágyázás negatív hatása a borsóhajtás biomasszája és a borsótermés csökkenésében mutatkozott meg (Bedoussac és Justes 2010b), ennek megfelelően a nitrogén megkötés mennyisége is csökkent. Ez megerősíti, hogy a növénytársítás hatékonysága elsősorban a társnövények közötti komplementer nitrogénhasználattól függ, valamint hogy képesek-e a nitrogénmegkötés arányának növelésére a saját tápanyagellátottságuk kielégítése érdekében. Naudin et al. kísérletében (2010) a nitrogén trágyázás késleltette a búza teljes biomasszához való hozzájárulásának csökkenését, és tovább fenntartotta a búza dominanciáját a borsóval szemben, mint a nitrogéntrágyázás nélküli társításban. Ez az eredmény megegyezik Corre-Hellou et al. (2006), és Pelzer et al. (2012) a vetéskor alkalmazott nitrogén trágyázás hatásaival kapcsolatos korábbi megfigyeléseivel. Minél korábbi volt a nitrogén trágyázás időpontja, annál magasabb volt a búza biomasszája és annál alacsonyabb a borsó biomasszája. A vegetatív fázis kezdeti, a borsónál nagyobb nitrogén igénye a búzának a dominanciáját erősítette meg az ásványi nitrogén megosztásban (Naudin et al. 2010). A nitrogén birtoklására adott válaszok tehát a kísérlet körülményeitől és helyszínétől függően változtak, és a társnövények alá, vagy fölérendelt helyzetét befolyásolták a keveréken belül. Ezáltal a nitrogén műtrágyázás hatása erősebb volt a búza kezdeti fejlődési előnye idején, míg a fajok közötti nitrogén igény különbségek a későbbi fejlődési fázisban kisebbek lettek. Bedoussac és Justes (2010b) feltételezése szerint már a borsóvirágzás kezdetének pillanatában a társítás során felhalmozott összes nitrogén rendelkezésre áll, amelyben nagy szerepe van az elérhető ásványi nitrogénnek a fejlődésment kezdetén. Ilyen értelemben a társított borsó és a teljes növénytársítás teljesítménye előre jelezhető a borsóvirágzás fázisában, függetlenül a későbbi nitrogéntrágya kijuttatástól és az időjárási körülményektől. Ksiezak et al. (2023) szerint a gabona-hüvelyes növénytársítás teljesítményét nem a nitrogén ellátottság, hanem a gyengébb versenyképességű társnövény határozza meg. A hüvelyesek alacsony aránya a keveréken belül nemcsak csökkenti a borsómagvak arányát a termésben, de érzékenyebbé teszi a növényeket a termésingadozással szemben. Ezen felül csökkenti a biológiai nitrogén megkötést és rontja a termésminőséget. Hauggaard-Nielsen et al. (2008) kísérletében a fajok között a gyengébb vetélytárs néha a hüvelyes, máskor pedig az árpa volt a terméskombinációtól és a talaj típustól függően, ami azt jelenti, hogy nem egy fajra jellemző jelenségről van szó. Ennek megfelelően lényeges tényező a társításban résztvevő növények arányának optimalizálása, különösen a hüvelyesek tekintetében, figyelembe véve a fajt, az élőhelyt és a kezeléseket.

5.8.2 A vetéssűrűség szerepe a termésmennyiség alakulásában

Tiszta állományokban a vetéssűrűsége adott válasz általában ismert, de ez nem mondható el növénytársítás esetén. A legtöbb kutatásban a növénytársítás helyettesítő elrendezést követ a hüvelyes: gabonaféle 50:50 arányában (Corre-Hellou et al. 2011, Hauggaard-Nielsen et al. 2009b, Bedoussac és Justes 2010a,b), de létezik 60:40, 80:20 (Lithourgidis et al. 2011b), 63:37, 75:25, 85:15, (Berk et al. 2008) és 65:35, 55:45 elrendezés (Dhima et al. 2007), valamint összegző elrendezés is 100:100, 50:50 és 100:50 megosztásban (Corre-Hellou et al. 2011, Hauggaard-Nielsen et al. 2009b). A 100:100 arányú vetésarány korlátozza a hüvelyeseket a gabonával való versengés miatt, de számos kutatás emeli ki ennek a társításnak az előnyeit is. A helyettesítő elrendezés esetében nyilvánvaló, hogy a keverék optimális teljes vetéssűrűsége nagyobb lehet, mint önálló vetésben a társnövények közötti komplementer kölcsönhatásnak köszönhetően (Bulson et al. 1997, Carr et al. 1998). Willey (1979) meggyőződése szerint azonban a nagyobb egyedsűrűség növeli a versengést a keverék összetevői között, és inkább a domináns fajnak kedvez. Hauggaard-Nielsen et al. (2006) borsó és árpa növénytársításban figyelték meg, hogy az alacsony és ajánlott vetéssűrűség mellett a borsó–árpa arány a végső szemtermésben nem tért el jelentősen a várt vetési aránytól. Míg az egyedsűrűség növelése, dacára az árpa kezdeti fejlődési előnyének, a borsó növekedésére volt pozitív hatással, a társított árpa növekedését a megnövelt vetéssűrűség súlyosan korlátozta, és a tenyészidőszak végére pedig a borsó dominált a társításban. Bedoussac et al. (2015) kimutatta, hogy durumbúzával keverve a borsó vetéssűrűsége megegyezhet a tiszta vetésben ajánlott vetéssűrűséggel, míg a lóbab vetéssűrűsége ennél alacsonyabb kell, hogy legyen, ha a termesztés célja a gabonatermés aránya közel 50% legyen társításban. Nyilvánvaló, hogy a növénytársítás teljesítményének kialakulásában a fő befolyásoló tényező a talaj ásványi nitrogén tartalma, ez legfőképpen az egyes fajok százalékos arányára van hatással a végső termésmennyiségben (Malagoli et al. 2020). A gyakorlatban a társnövények százalékos aránya a társításban gyakran változhat. Amennyiben magas arányú borsó elérése a cél, a fő növény a borsó, amit azért vetnek növénytársításban, hogy elkerüljék az olyan tiszta vetésben felmerülő nehézségeket, mint erős megdőlési hajlam, vagy pedig a fehérjeelőállítás a termesztés tárgya. Egyenlő arányú 50-50%-os termésmennyiség várható, ha mindkét társnövény jelentősége egyaránt lényeges szempont, ekkor a nagyobb termés, vagy takarmány elérése a szándék kisebb ráfordítás mellett. A harmadik lehetőség a magas gabona arány a növénytársításban, ekkor a gabona a fő növény, és a társítás célja a nitrogén műtrágya csökkentése a termesztésben.

A választott fajokon, fajtákon, és vetéssűrűségeen túl a növénytársítás típusa/térbeli szerkezete is befolyással van a beeső fény, víz, és tápanyagok eloszlására a társnövények között (Bedoussac et al. 2015). Kukorica és galambborsó keverék esetében a kukorica termése csökkent, ha mindkét fajt egy sorban, keverve vetették, szemben a külön soros termesztéssel (Dalal 1974). Kukorica/szója és cirok/szója társításokban a kukorica és ciroktermés tekintetében nem volt különbség az 1x1-es és a 2x2-es soronkénti bontás között, míg a szójatermés szempontjából a 2x2 soros kialakítás volt kedvező (Mohta és De 1980). A sűrűségeket tehát a társítás térbeli elrendezése alapján érdemes megválasztani és fordítva, a termelési céloknak megfelelően.

5.9 Fehérjetartalom keverékvetésben

5.9.1 Fehérjenövények helyzete hazánkban és Európában

A mezőgazdasági robbanásszerű fejlődése a termelési rendszerek magas szintű specializációját idézte elő az állattenyésztés és a növénytermesztés elkülönülésével és az egyre rövidebb vetésforgó alkalmazásával. A gyors fejlődés elsősorban olyan növényfajok termesztésének kedvezett, amelyek rövidtávú haszon elérésével kecsegtettek, és ez számos nitrogén megkötő növény mellőzésével járt együtt (Voisin et al. 2014). Az utóbbi évek kutatásai azonban világossá tették, hogy az intenzív mezőgazdasági termelési rendszer negatív hatásai végett hosszútávon a fennmaradása érdekében egy sokkal inkább környezetbarát formát kell, hogy

felvegyen (Duchene et al. 2017, Pelzer et al. 2012, Bedoussac et al. 2015). A fenntarthatóbb mezőgazdaságra való átállás a javaslatok szükségszerűsége ellenére nem egy gyors folyamat.

Hazánkban a mezőgazdaság intenzifikációja a búza és kukorica termésének közel két és félszeres növekedését eredményezte. A magas termelési értékükből kifolyólag a gabonafélék túlsúlyba kerültek a vetésszerkezetben, részarányuk a szántóföldi kultúrák mintegy 60%-át ölelte fel. Emellett a szálas tömegtakarmányok területe csekély mértékben nőtt. Ezek a folyamatok jórészt az abrakigényes haszonállataink, a sertés és baromfi tartásának kedveztek (Bocz 1992). A megnövekedett abrakigénnyel nagymértékű fehérjepótlás vált szükségessé, amelyet azonban a hazai vetésszerkezetünk és a fehérjetermő területek nem tudtak kielégíteni (Bódis 1983, Bocz 1992). A helyzet ma is változatlan, Magyarország fehérjetakarmány szükséglete 800 ezer tonna éves szinten, amelynek 40%-át termeljük meg hazai szinten, a fennmaradó részt főként az USA-ból importáljuk extrahált szójadara formájában (Sárvári 2022). A súlyos fehérjehiány ellenére a hüvelyesek termőterülete folyamatos csökkenést mutat mind Európában és hazánkban is (Urbatzka et al. 2012, Divéky-Ertsey et al. 2022, Ditzler et al. 2021, Voisin et al. 2014, Crews és Peoples 2004). Ennek oka a viszonylagos alacsony versenyképességükben keresendő a gabonafélékkel szemben, de közrejátszik az olcsó és teljes fehérje értékű szójabab és szójaliszt import nélkülözhetetlensége a takarmány előállításban (Divéky-Ertsey et al. 2022). Az Európa jelentős erőfeszítéseket tett a hüvelyes növények termesztésének növelésére, különösen a fehérjében gazdag fajokat illetően (Magrini et al. 2016, Cernay et al. 2018). Ilyen volt a Duna Szója Egyesület, a Fehérje terv, vagy a KAP szemes fehérje termeléshez kötött támogatása (Divéky-Ertsey et al. 2022, Zander et al. 2016). Ezek azonban jórészt a szójatermesztés növelését célozták meg azzal a céllal, hogy csökkentsék az import szójától való erős függőséget (Magrini et al. 2016, Cernay et al. 2018). Az EU állattenyésztési ágazata a fehérjehordozó takarmány nagyfokú behozatalával rendkívül kiszolgáltatottá vált az ingadozó árakkal szemben (Popp et al. 2015). Már a folyamat kezdetén is a szakemberek természeti katasztrófa, járvány, vagy éppen a beszállító ország részéről fellépő embargó lehetséges bevezetését vetítették elő, ezért a biztonságra való törekvés és a kockázatvállalás mérséklése érdekében folyamatosan keresték a megoldást a hazai fehérjebázis növelésére (Bódis 1983). A szemes fehérjenövények–mint a borsó, bab és csillagfürt–a szójabab és szójaliszt importjának legfeljebb 20%-át helyettesíthetik (Popp et al. 2015), ugyanakkor a borsó 22-24% fehérjetartalmával a második legfontosabb fehérjenövényünk a szója után. A borsó keményítőben gazdag, és viszonylag alacsony rost tartalmú növény. Az új „fehérje fajták” alacsony tannin és tripszin gátló tartalmukkal feldolgozatlan formában is jól emészthető fehérjeforrásként szolgálhatnak az emberi és állati takarmányozásban egyaránt (Divéky-Ertsey et al. 2022).

Magyarország elkötelezett a géntechnológiai módosításoktól (GMO) mentes élelmiszerek és a takarmányozás iránt. Ugyanakkor a szójabab és szójaliszt importáló országoknál a GMO szója részesedése a szója vetésterületének 89-99%-a közé tehető (Popp et al. 2015). Tehát a GMO mentes ellátási lánc fenntartás szempontjából jelentős előnyt jelenthet a szemes fehérjenövények hazai termesztésének alternatívája. A növénytársítás nemcsak a növényvédőszeres és műtrágyák, valamint a hozzájuk kapcsolódó többlet költségek csökkentésének igényét elégíti ki, hanem biztos hozamot biztosít azoknak a növényeknek, amelyeknek a termésingadozás mindaddig a termesztés kritikus eleme volt (Mamine és Farés 2020).

5.9.2 Nitrogéntrágya szerepe a fehérjetartalom alakulásában

Európában az őszi búza nitrogéntrágyázás gyakorlata a tavaszi kijuttatást preferálja, amikor a talaj vízháztartása negatívvá válik és a nitrogén kimosódás esélye elhanyagolható (Limaux et al. 1999). A gabona nitrogénigényének kielégítése kulcsfontosságú a jövedelmező termés és fehérjetartalom eléréséhez (Garrido-Lestache et al. 2004). Ennek következtében termelésük magas nitrogéntartamú trágyákkal történik egyaránt a hagyományos és az ökológiai termesztésben is (Bedoussac et al. 2015). Ezzel szemben az alacsony nitrogén ellátottságú rendszerekben a nitrogénforrás korlátozottsága megnehezíti a megfelelő fehérje koncentráció elérését, amelyet a

búza minőségi előírása kenyér esetében, és a durum búza minőségi előírása búzadara és tészta készítéséhez megkíván. Annak érdekében, hogy elkerüljék a durum búza üveges szem jelenségét (Garrido-Lestache et al. 2004), a gabona nitrogén remobilizációjának növelése szükséges a szemtermésben. A betakarított termés minőségének, de különösen a fehérjetartalom növelésének egyik lehetséges módja a tiszta vetéshez képest a növénytársítás választása (Knudsen et al. 2004, Gooding et al. 2007, Bedoussac és Justes 2010a, Naudin et al. 2010). Bedoussac et al. (2015) vizsgálataiban az őszi borsóval társított durum búza fehérjetartalma a legtöbb esetben nagyobb volt az adott búzafajta önálló vetéséhez képest. Ám a növénytársítás előnye akkor érvényesült a leginkább, ha a tiszta vetésben a gabona fehérjetartalma eleve alacsony volt a fejlődés menet során a nitrogén korlátozott elérhetősége végett. Amely megerősíti azt az állítást, hogy a keverékvetés az alacsony ráfordítással bíró termesztési rendszerek számára jár előnnyel (Bedoussac és Justes 2010b, Hauggaard-Nielsen et al. 2006, Andersen et al. 2004). Értelemszerűen nitrogéntrágya alkalmazásával a társított borsó növekedése és termése jelentősen csökkent, míg a búzáé csak enyhén mértékben nőtt, ami a társítás hátrányához vezetett. Ez azt jelenti, hogy a növénytársítás abban az esetben lehet előnyös, ha az elérhető nitrogén mennyisége (talaj nitrogéntartalma és nitrogéntrágya együttesen) egy bizonyos szint alatt marad, mivel az összes nitrogén alacsony szintje mellett a társnövények komplementer nitrogén használata valósul meg. Ennek némileg ellentmond Naudin et al. (2010) eredményei, ahol az őszi búza fehérjetartalma a trágyázatlan búza/borsó növénytársításban sem tért el lényegesen a műtrágyázott tiszta búzavetéstől.

A nitrogéntrágya kijuttatásának ideje jelentősen befolyásolja felvételét a növény által és a megoszlását a talaj és a növény között. Limaux et al. (1999) radioizotópos vizsgálataikban kimutatták, hogy nitrogéntrágya egy része nem hozzáférhető formában marad a növény számára, amelyet jelentősen befolyásol a műtrágyázási gyakorlat, a talaj típus és az éghajlati viszonyok. Ennek értelmében a búza fehérjetartalmát nemcsak a kijuttatott nitrogéntrágya mennyisége, hanem az alkalmazás száma is befolyásolja a talaj nem hozzáférhető nitrogéntrágya része miatt. A nitrogéntrágya felhasználás hatékonysága általában alacsony a korai kijuttatás esetében, majd a későbbi alkalmazás idejével nő, amíg el nem éri a maximális értékét. Ezt Bedoussac és Justes (2010a) is bizonyította kísérletében, ahol a korai egyszeri nitrogéntrágya kijuttatás szárbaindulás idején (Zadoks-skála 30) csekély hatással volt a fehérjetartalomra. Ezzel ellentétben, a kései osztott nitrogén műtrágya a zászlóslevél kiterülés során (Zadoks-skála 37) a búza fehérjetartalom nagymértékű növekedését idézte elő a műtrágya nélküli táblákhoz képest növénytársításban és tiszta vetésben egyaránt. A búza nitrogéntrágyázása ilyen értelemben korlátot szabott a végső termésarány és fehérjetartalom kialakulásának. Következésképp a gazdáknak lehetőségük van választani a búzatermés (korai nitrogéntrágya kijuttatás=szárbaindulás) és a fehérjetartalom között (kései nitrogéntrágya kezelés=zászlóslevél kiterülés) (Pelzer et al. 2016). Hasonló eredményt tapasztaltak Naudin et al. (2010) az osztott műtrágya kijuttatás hatásaival kapcsolatban, azzal a különbséggel, hogy a kései nitrogénkezelés idejét jóval később, azaz kalászhányás kezdetén (BBCH 50) végezték. A hüvelyesek légköri nitrogén megkötése a fejlődés menet folyamán változik: a generatív szakasz kezdetéig folyamatosan nő, majd a reprodukzív szervekkel a szénért folytatott versengés eredményeképp csökken (Voisin et al. 2002). A nitrát elérhetősége a talaj felső rétegeiben a szemtelítődés fázisáig gátolja a légköri nitrogén megkötést, tehát a nagyon kései műtrágya kijuttatás nem lehetett hatással a hüvelyes nitrogénmegkötő tevékenységére, csupán a gabona fehérjetartalmát befolyásolta. A légkörből származó nitrogén a társított borsó hajtásaiban 20%-kal nőtt a műtrágyázatlan társításokban a tiszta vetéshez képest. A légköri nitrogén megkötés hozzájárulása a társított borsó nitrogén felhalmozódásához még a műtrágyázott parcellákban is magas volt, ez alól csupán a kis mennyiségű nitrogéntrágya kijuttatás mutatott kivételt a borsóvirágzás kezdetén.

Számos kutató igazolta, hogy tiszta vetésben a termés és a fehérjetartalom negatív lineáris korrelációt mutat (Pepó 2022). Az állítást Bedoussac és Justes (2010a) is bizonyította, kiemelve, hogy a negatív korreláció kifejezetten alacsony nitrogénellátottság mellett növénytársítás esetén is teljesül. A nitrogén elérhetőség növelésével a korreláció gyengébb lett, jelezve hogy a nitrogén nem volt túlzottan korlátozó erőforrás nagy mennyiségű alkalmazása esetén. Ez alapján lehetséges,

hogy a társított búza magas fehérjetartalma a tiszta vetéssel szemben főként a hozamcsökkenéssel magyarázható, ami Bedoussac és Justes (2010a) kísérletében mintegy 40%-kal volt alacsonyabb, mint a búza önálló vetése esetén. Társításban a nitrogén dinamika változása a hüvelyes növény légköri nitrogén megkötésének időbeli hullámozása miatt következett be. A búza számára a keverék a nitrogén igény és ellátás magasabb fokú összhangját idézte elő, amely a fokozott növekedés és az ebből következő fajon belüli és fajok közötti versengés eredményeképp jött létre, egyúttal csökkentve az egy négyzetméterre jutó kalászszaámot a társított búza esetén. A fehérjetartalom ezzel szemben pont fordított arányban növekedett, mivel kevesebb egyedszámmra jutott közel azonos mennyiségű ásványi nitrogén.

5.10 Társnövények közötti kölcsönhatás

5.10.1 Versenykiegyensúlyozottság a növénytársításon belül

Két növény együttes termesztése során az alapvető élettani elvek előre vetítik, hogy a társnövények idővel versenyre lépnek egymással (Caballero et al. 1995, Andersen et al. 2007), mivel az erőforrás szükségletük megegyezik. Míg a tápanyag és vízellátás elérhet olyan szintet, hogy nem szenved hiányt a növény, addig a fény esetében zárt állományban az egyik faj általi fény elnyelés óhatatlanul a másik rovására történik (Yu et al. 2016). Az erőforrás-szerzési módok hasonlósága meghatározza a fajok közötti verseny intenzitását. Azok a fajok, amelyek hasonló térbeli és/vagy időbeli nichével rendelkeznek, erősebb hajlamot mutatnak az intenzív versenyre, amely a relatív gyengébb faj biomassza és terméscsökkenését vonja maga után. A maximális haszon eléréséhez növénytársításon belül a fajokon belüli és fajok közötti versengés között optimális egyensúly megteremtése szükséges (Annicchiarico et al. 2019). Általában a növénytársításban az aszimmetrikus versengés, amely az egyik faj versenyelőnyéhez vezet a másikkal szemben, gyakrabban fordul elő, mint a szimmetrikus versengés (Connell 1983). A vizsgált tanulmányok jóval több, mint felében csak az egyik fél volt érintett a versengést illetően. Az erős aszimmetrikus versengés iránya azonban nem állandó, a versenyfőlény rangsora könnyen átfordulhat. Ha egy kísérletben csupán a kezdeti és a kimenő termés ismert, nehéz eldönteni, hogy melyik mechanizmus váltotta ki a végső eredményt. Ebben az olvasatban a fajok közötti versengés nem minden esetben világos és egyértelmű. A társnövények versenyképesség egyensúlyának felborulása jelentősen hátráltathatja agroökológiai szempontból a hüvelyes növény alapú társítások hatékonyságát (Corre-Hellou et al. 2006). Ksiezak et al. (2023) szerint a gabona-hüvelyes társítás hozamát elsősorban a gyengébb társnövény teljesítménye határozza meg. A keverékben lévő hüvelyes társnövény versenyhátrányából adódóan csökken a hüvelyes aránya az össztermésben, így a hüvelyes növény nyújtotta előnyök kevésbé érvényesülnek, ami a termésminőség romlásában és a nitrogén megkötés csökkenésében mutatkozik meg. A kevésbé erőteljes társnövény választás, a nitrogéntrágyázás csökkentése, vagy teljes elhagyása, a hüvelyes növény egyedsűrűségének növelése, vagy éppen a társítás térbeli elrendezése enyhíthetik az aszimmetrikus versengést a gyengébb vetélytárssal szemben (Annicchiarico et al. 2019). A fajok közötti versenyhierarchiák és az idővel való változásuk alaposabb ismerete hozzájárulhat egy kiegyensúlyozott keverék tervezéséhez (Andersen et al. 2007).

A növénytársításban előforduló kölcsönhatások rendkívül összetettek, folyamatosan változnak a fejlődés menetén és a tenyésztési teljes egésze alatt megjelenhetnek a keveréken belül (Justes et al. 2021, Caballero et al. 1995, Connolly et al. 1990). Ezeket a hatásokat a 4C megközelítés alapján Justes et al. (2021) határozták meg olyan célzattal, hogy jellemezzék és értékeljék a társítások teljesítményét, egyúttal megértsék az abiotikus erőforrások szerepét a végső terméshozam és a terméselőny kialakulásában a növénytársításon belül. A 4C megközelítésben, a nevéből adódóan, 4 típust különítettek el, amelyek egyidejűleg és erőteljesen jelenhetnek meg a tenyésztési időszak során. A 4C megközelítés a fajok közötti kölcsönhatásokat és a hozzá kapcsolódó ökológiai folyamatokat végső hatásnak tekinti.

A 4 típus a következő:

- *Kompetíció/versengés (Competition)*: amikor a társnövények térben és időben ugyanazt az erőforrás készletet használják, a versengés minden olyan folyamat eredménye, ami akkor következik be, amikor egy faj képessége a korlátozott erőforrások megszerzésére nagyobb a másikonál. Más megfogalmazásban olyan kölcsönhatás az egyedek között, ami nem jár haszonnal. Ide sorolják a korlátozott elérhetőségű erőforrásokért folyó küzdelmet, valamint ha az egyik faj elfogja az erőforrást a másik elől, így az elérhetetlenné válik a másik számára, és ez által annak kondíciója csökken. Következésképp, a verseny akkor is megjelenik, ha a társnövények ugyanolyan, vagy nagyon hasonló erőforrásszerzési képességgel rendelkeznek, és abban az esetben is, ha csupán az egyikük képessége alacsonyabb, mivel ugyanazt az erőforrást kívánják elérni.
- *komplementaritás/kiegészítés (Complementarity)*: amikor a társnövények erőforrás igényei térben, időben, vagy a felvétel formájában térnek el egymástól. A másik eset, amikor ugyanaz az erőforrás igény térben, vagy időben eltérően merül fel, csökkentve a niche átfedést a résztvevő fajok között.
- *kooperáció/együttműködés (Cooperation)*: amikor az egyik faj megváltoztatja a környezetét, ami a másik faj számára is előnyös. Ilyen például az ásványi nitrogén és foszfor elérhetőségének növelése, vagy ha az egyik társnövény támasztéklul szolgál a másik számára, ezáltal a másik növény fotoszintézis aránya és állóképessége nő, ennél fogva a betakarítás menete is könnyebbé válik.
- *kompenzáció (Compensation)*: amikor az egyik faj elhalását a másik ellensúlyozza, mert eltérő a biotikus és/vagy abiotikus tényezővel szembeni érzékenysége. A fajok közötti egyensúly meghatározott: egy faj lehet nagyon előnyös, vagy előnytelen a növénytársításban a környezeti tényezőkkel szemben. A fajok kombinálása a tiszta vetéssel szemben lehetőséget nyújt a fajok közötti növekedés kiegyenlítésére az élettelen erőforrások felvételével, és egyes kártevők, kórokozók hatékony visszaszorításával egyetemben.

Justes et al. (2021) értékelése szerint a versengés vagy a komplementaritás jelenléte nem zárja ki egymást. A komplementaritás egy konkrét erőforrásra vonatkozik, szinte okvetlenül megjelenik egy természetes növénytársulásban, vagy egy ideális növénytársítás során, még abban az esetben is, ha egy adott erőforrásért, vagy többért eközben versengés alakul ki. A versengés erőssége az erőforrás típusa, a fajok tulajdonságai és a talajklimatikus viszonyok alapján változik. A nemzetközi irodalomban szerepel ezen kívül a niche elkülönülés, illetve az erőforrás megosztás fogalma, de lényegében ugyanezeket a folyamatokat írja le. A növénytársítás egyes fajainak terméshozama mindenekelőtt a fajok közötti kölcsönhatások intenzitásától és egyensúlyától függ, ugyanakkor a végső termésben az összes felsorolt kölcsönhatás szerepet játszik (Justes et al. 2021).

5.10.2 A komplementaritás kérdése és a dominancia szerepe

A legtöbb kutató a növénytársításban megfigyelhető nagyobb terméshozamot és termésstabilitást a tiszta vetéshez képest a hatékonyabb erőforrás felhasználásnak, illetve biomasszává való átalakításnak tulajdonítja (Hauggaard-Nielsen és Jensen 2005, Pelzer et al. 2012). A hatékonyabb erőforrás felhasználás a komplementaritás lehetőségét veti fel a társnövények között, a társítás hatékonyságának növelése érdekében a komplementaritás maximalizálása és a versengés minimalizálása szükséges (Andersen et al. 2004). Sok tanulmány foglalkozik a komplementaritás kérdésével. Bedoussac et al. (2015) megfogalmazásában a komplementaritás egyike a legbonyolultabb mechanizmusoknak, amelyek az erőforrások jobb kihasználtsága által javítják a társnövények teljesítményét. Duchene et al. (2017) szerint a fajok közötti komplementaritás felfogása azt sugallja, hogy a társnövények az erőforrások megtalálásának és felhasználásának módjában térnek el egymástól, és ez az alapja a fajok közötti

versengés korlátozásának. Meglátásuk szerint a komplementaritás *időbeli, térbeli és kémiai* kategóriába sorolható. A növényfajok abban az esetben is kiegészíthetik egymást, ha *időbeli eltérés* van az igényeik között. A váltott művelés tipikus példája annak, hogyan lehet kihasználni az időbeli eltéréseket a növekedés és fejlődés céljából. A *térbeli komplementaritás* esetében a tápanyagfelvétel a gyökérszóna kölcsönhatásaitól és az érintett növények tulajdonságaitól függően különböző helyen megy végbe. A térbeli komplementaritás, vagy másként függőleges niche rétegződés leginkább a gyökérszerkezettől és a gyökerezési mélységtől függ, ami meghatározza a víz és tápanyagfelvételt (Hauggaard-Nielsen és Jensen 2005). A térbeli komplementaritást igazolta árpa és borsó keverékben Hauggaard-Nielsen et al. (2001a), ahol az árpa gyökérrendszere a mélyebb talajrétegekben fordult elő növénytársításban. A *kémiai komplementaritás* a társnövények mobilizációs képességére utal, a tápanyagok különböző formáit illetően. Ennek iskolapéldája a hüvelyes növények nitrogén megkötési képessége a légkörből. A komplementaritás különböző típusai ellenére a legtöbb szántóföldi kísérlet az időbeli, térbeli és kémiai komplementaritás kevert hatását mutatja, nem pedig a megosztás egyetlen formáját. A komplementaritás létrejöttében sokkal inkább egy növényi tulajdonságnak van szerepe, amelyet a stressz helyzethez való alkalmazkodás vált ki, semmiképp sem tekinthető egy állandó és rendszeres növényi viselkedésnek (Duchene et al. 2017). A komplementaritás egy törekeny egyensúlyon alapul, ami könnyen versengéssé fajulhat. A versengés szinte minden növénytársításban belül megjelenik, ebből kifolyólag tehát a megfelelő komplementaritás biztosítása kihívást jelent a fajok közötti versengés ellensúlyozására.

Őszi durumbúza és őszi borsó társítása esetén Bedoussac és Justes (2010a) mintegy 20 % termésnövekedést mértek a tiszta vetésű gabonához képest, amelyet a jobb fénykihasználásnak, az alternatív termesztési módnak és a nitrogén megkötésnek tulajdonítottak. Azonban az eredményt jelentősen befolyásolta a talaj ásványi nitrogén elérhetősége, továbbá a nitrogén műtrágya alkalmazása, amely a borsó kárára növelte a búza versenyképességét és egyben a növekedését is. Hasonló eredményekről számoltak be Corre-Hellou et al. (2006) az árpa a talaj ásványi nitrogénért folyó versenyképességének növekedését illetően, amely ugyancsak erőteljes növekedést hozott magával a gyökérszét és a föld feletti növényi részek és a nitrogén ellátás terén. Magas talaj ásványi nitrogéntartalma esetén az ehhez hasonló kísérletek alátámasztják a komplementaritás és a kompetíció közötti egyensúly eltolódását, és emellett kiemelik az erőforrás elérhetőség jelentőségét a fejlődésmenet kezdetén (Fridley 2002). E két kölcsönhatás közötti egyensúly tehát folyamatosan változik, a környezeti feltételek változásaitól, vagy a növény fejlődési fázisától függően.

A vetésarány fontos tényező a növénytársításos termesztési rendszerekben, mivel közvetlenül befolyásolja a termőképességet (Dordas et al. 2012). A növénytársításban általában a hüvelyes növény versenyképessége alacsonyabb a gabonánál, emiatt az nagyobb vetéssűrűséget igényel a társítás előnyeinek elérése érdekében (Lithourgidis et al. 2011b). Willey (1979) véleménye szerint azonban a nagyobb egyedsűrűség a versengés fokozását idézi elő a társnövények között, és legfőképp a domináns fajok számára jelent előnyt. Ezt az állítást támasztja alá Guiducci et al. (2018) búza és hüvelyes ideiglenes növénytársításában, ahol a lóbab, borsó és lóhere sorok beforgatásával a nitrogén önellátás mértékét vizsgálták a termesztési rendszerben. Megfigyeléseik szerint minél nagyobb volt a hüvelyes növény versenyképessége, annál több volt a felhalmozott nitrogén mennyisége az elhalást megelőzően és annál több/koraibb volt a nitrogén ellátás a búza felé. A hüvelyes növény beáldozásnak időpontja kulcsfontosságú volt a nitrogén ellátás maximalizálása és a kompetíció elkerülése érdekében, amely negatív hatással volt a búza növekedésére és termésére. Ellenben Izaurralde et al. (1990) kísérletében árpa és borsó növénytársításban különböző vetéssűrűségek mellett a keverék terméshozama, szalma tömege, és szárazanyag hozama is magasabb lett a borsó vetéssűrűség növelése által. Más kísérletek árpával és zabbal termesztett borsó eltérő vetésaránya mellett nem tudtak jelentős előnyöket kimutatni a szárazanyag hozam és a szemtermés tekintetében éppen a gabona összetevő erős dominanciája végett (Carr et al. 1998). Benincasa et al. (2012) üvegházi kísérletekben a lóbab/búza és repce/lóhere közötti korai interferenciát vizsgálta a csírázás fázisában és 32 nappal a vetés után. A

csírázás során egyik társítás esetében sem figyeltek meg zavarást, azonban később a fajok közötti interferencia megjelent a társításokban és eltéréseket okozott az egész növény és a gyökér szárazanyag felhalmozódásában. Búza/lóbab keverékben minden faj megszenvedte a társnövény kompetitív hatását, a domináns fél a lóbab volt abban az esetben, ha a vetéssűrűsége kisebb volt a búzáénál. A lóbab a vártnál agresszívabb viselkedése egyaránt magyarázható volt a nagyobb magméretből adódó kezdeti fejlődési előnnyel, és a nitrogénért folyó versengéssel, a búzával szemben. A másik keverékben a repce fejlődését elősegítette a lóhere jelenléte, ugyanakkor a dominanciája visszavetette a lóhere fejlődését. Mindkét társításban a legjobb teljesítmény a domináns faj alacsony vetéssűrűsége mellett valósult meg. Caballero et al. (1995) közönséges bükköny és zab növénytársításban a zab vetésarányának növelésével a versengés is fokozódott. A legkedvezőbb bükkönytermés a 10% zab vetésarány, mint küszöbérték alatt teljesült. A zab keveréken belüli arányának további 20%-ra való emelésével kompetitív depresszió/versengésből fakadó viselkedészavar jelentkezett a társításban. Míg a keverékek takarmányhozamát a bükköny vetésaránya nem befolyásolta, addig magas takarmány minőség csak a zab alacsony vetéssűrűségével volt megvalósítható.

5.10.3 Magasság jelentősége, növekedési dinamika

Nagyon sok szerző egyetért abban, hogy a társnövények növekedésének egymást követő mérése nagyobb mértékben teszi lehetővé a köztük fennálló kölcsönhatások dinamikájának és mechanizmusának megértését, mint önmagában a végső termés mérése (Connolly et al. 1990, Andersen et al. 2004). A társnövények azon képessége, hogy kihasználják a rendelkezésre álló környezeti erőforrásokat a növekedésükhöz idővel változik a fejlődésmenet során. Míg búza-borsó keverékben a borsó a borsóvirágzás és a búzavirágzás közötti szakaszban (közel a borsó szemtelítődési fázisához) élvez előnyt a társításon belül, addig a búza számára előnyös időszak a keléstől a szárbaszökésig, egészen a borsó virágzásáig tart (Bedoussac és Justes 2010b). A búza közvetlenebbül profitál a nitrogéntrágyázásból a borsónál, ami javítja számára a fény- és vízmegkötést, ezáltal visszaszorítja a borsó növekedését függetlenül a műtrágya kijuttatás mennyiségétől és idejétől (Fujita et al. 1992, Jensen 1996a, Bulson et al. 1997). A búza erőteljes növekedése árnyékolást okozhat a borsóval szemben, és befolyásolhatja annak fotoszintézisét és a légkörből való nitrogén megkötést (Hauggaard-Nielsen és Jensen 2001, Fujita et al. 1992). Mivel a nitrogén felvétel szorosan összefügg a fényelfogással, növénytársításban a növényenként megkötött nitrogén mennyiségét nagymértékben a borsó növekedése határozza meg, továbbá függ a társnövény fényért való versengésének erősségétől (Corre-Hellou et al. 2006). A hatékony társítások kiterjesztik a rendelkezésre álló erőforrások megosztását térben is időben, kihasználva a társnövények közötti különbségeket olyan tulajdonságok tekintetében, mint a lombkorona fejlődés üteme, végső lombkorona szélesség és magasság, fotoszintézis alkalmazkodása a beeső fényhez, és a gyökerezési mélység. A növényállomány sűrűségének és termésgeometriájának megválasztása-beleértve a sorok tájolását– lehetőséget teremt az erőforrások megosztásának tervezéséhez és a versenyképesség befolyásolásához a kívánt hozam elérésének érdekében (Midmore 1993). Azok a keverékek, amelyekben a társnövények magassága változó, alkalmasak a termésgeometria befolyásolására legfőképpen azért, hogy helyet biztosítsanak az alacsonyabb növény számára a nagyobbik növénytől való helymegvonás által. A tiszta vetésben alkalmazott vetésarány megtartása a domináns társnövény számára a térbeli geometria változásához vezet, ami növeli a teret a másik növény számára a soron belül, vagy a páros domináns sorok között. A domináns társnövény helyének csökkentése a napsugárzáshoz való hozzáférés mellett a talajnedvesség és tápanyagkészletének birtokolt méretét is csökkenti, ebből adódóan korlátozza a versenyképességüket a kisebb növényvel szemben. A kisebb növény erőforrás szerzésének növelése a termésgeometria által gyakran terméselőnyhöz vezet. A domináns növény téglalap alakú elrendezése a lombkorona összezáródása előtt hosszabb ideig biztosítja a fényáteresztő képességet az alacsonyabb növény számára. Ebből fakadóan a könnyebb tervezés érdekében a leggyakoribb a sávos elrendezésű növénytársítás, szemben a váltakozó soros vetéssel, vagy a soron

belüli kevert vetéssel. Sávos vetésben nagyobb hangsúlyt kap a sorok tájolása, amely kihat a nappali árnyékolási szintekre, annak időszakosságára és az alacsonyabb társnövény növekedésére, továbbá csökkenti a versengés hatását és kihasználja a szegélyhatást.

A legtöbb esetben növénytársításban a gabonafélék versenyképessége nagyobb a hüvelyesekkel szemben, az azonos erőforrás igényük versengést generál a társnövények között, ami többnyire az erősebb vetélytárs irányába dől el. A vetésarány növekedése mellett fokozódik a versengés, amelyet Dordas et al. (2012) is megerősítettek őszi árpa és borsó társításában, ahol 60:40 és 80:20 borsó: búza vetésarány mellett a borsó magassága növekedett, vélhetően a fényért vívott versengés következtében. Baxevanos et al. (2017) is a társnövények magasságának változását figyelte meg őszi zab és borsó növénytársításban. 80:20 borsó: zab vetésarány mellett a borsó volt magasabb, míg 60:40 vetésarány mellett már nem volt különbség a társnövények magasságát illetően. Búza és lóbab keverék esetében Agegnehu et al. (2008) nem találtak különbséget a lóbab magasságában a társított és az önálló vetés között. Ugyanakkor a búza kisebb lett társításban a tiszta vetéshez képest. Komplementer hatást a 100: 37.5 búza: lóbab vetésarány esetében figyeltek meg, a lóbab arányának növelése azonban fokozta a kompetíció jelenlétét és a búza termés csökkenését idézte elő.

5.11 Fejlődésmentre gyakorolt hatások

5.11.1 Hőstressz és az aszály hatásai a társnövényekre

A globális klímaváltozás hatása egyre inkább érezhető a növénytermesztésben. A szélsőséges időjárási jelenségeknek, de legfőképp a hőmérséklet emelkedése és a csapadék eloszlása jelentős befolyással van a termesztés sikerére (Balla et al. 2019). A hőmérséklet egyike azoknak a fő környezeti tényezőknek, amely magyarázatul szolgálhat a termésmennyiség és minőség változásainak az egyényári növények esetében, de különösen igaz ez a hüvelyes növényekre (Larmure & Munier-Jolain 2019, Parihar et al. 2022). Emellett a borsó relatíve alacsonyabb hőtüréssel rendelkezik a többi hüvelyes növényhez képest, mint a csicseriborsó, vagy lencse (Lamichaney et al. 2021). A levegő hőmérsékletének akár egy fokkal is magasabb értéke a küszöbértéken felül hőstressznek minősül a növényekben (Sita et al. 2017). A növények érzékenysége változó, függ a hőhatásnak kitett növény fejlődési fázisától, a kitettség időtartamától és a stresszhatás erősségétől (Jiang et al. 2019, Sita et al. 2017, Bueckert et al. 2015). Mindezek eredményeképpen nagyon sok kutatás foglalkozik azokkal a kulcsfázisokkal, vagy más néven kritikus időszakokkal, amelyek meghatározóak az egyes növénykultúrák számszámának kialakulásában – elsősorban gabonanövények esetében. A kritikus időszakok ismerete azonban elengedhetetlen olyan stratégiák, vagy termesztési rendszerek kidolgozásához, amelyek által nagyobb esély mutatkozik a betakarítható termés növelésére (Sandana & Calderini 2012, Vara Prasad és Djanaguiraman 2014). A hőstressz a fejlődésmentet bármelyik szakaszában jelentkezhetsz, és ez döntő lehet a növény válasza szempontjából. A növények még mindig képesek fejlődni az optimálisnak ítélt hőmérséklet felett is az alapvető hőtoleranciának/hőtűrésnek köszönhetően. Ami tulajdonképpen nem más, mint a hőmérséklet emelkedéshez való fokozatos hozzászoktatás (Bányai et al. 2014, Sita et al. 2017).

5.11.2 Az őszi búza és borsó kritikus időszakai

A borsó ökológiai érzékenysége jelentős, a klimatikus és edafikus tényezők egyaránt befolyásolják termesztését (Sárvári 2022). Közepesen vízigényes növény, egyes fejlődési fázisaiban azonban a vízigénye lényegesen megnő (Balikó és Fülöp 2002, Nagy 2000). Kezdeti fejlődéséhez egyenletes vízellátottságot igényel, de maximális vízigénye a virágzástól a szemtöltődési fázisában jelentkezik, amely egybeesik a legérzékenyebb időszakokkal a hőmérséklet tekintetében (Jiang et al. 2020, Baigorri et al. 1999). Ha ebben az időszakban csapadékhiány lép fel, a növekedésben a borsó elmarad, és nem éri el a fajtára jellemző növénymagasságot (Kiss

1980). Míg a talajnedvesség legfőképp a növekedésre hat, a lehullott csapadék mennyisége és eloszlása pedig a termés mennyisége szempontjából meghatározó tényező. A borsó fejlődése mérsékelt meleg időjárás mellett optimális. A megfelelő terméskötés feltétele a megfelelő mennyiségű vegetatív felület (Balikó és Fülöp 2002). A kezdeti növekedéshez 11-12°C átlaghőmérséklet szükséges, a fejlődés optimális hőmérséklete 14-15°C. Hőigénye a virágzás, de mindenekelőtt az érés idején ennél nagyobb: virágzáskor 15-18°C, éréskor 18-20°C. Kedvező időjárás esetén a legnagyobb növekedési fázis április közepe és május 10. közepéig tehető. A borsó növekedéséhez a túl sok csapadék ugyanúgy kedvezőtlen, mint a szárazság. Csapadékos időben a tenyészidő elnyúlik, a mag-szár aránya eltolódik a szár irányába. A virágzás előtti erős csapadékhányat a későbbi bőséges esőzés sem tudja pótolni (Sárvári 2022, Kiss 1980). A borsó szárazságtűrése a reprodukív fejlődési szakaszban erősen csökken. Átmeneti, vagy tartós hőmérsékletemelkedés a vegetatív és szemtelítődési szakasz rövidülését idézi elő, valamint kényszerérést és érezhető hozamkiesést okoz (Sita et al. 2017, Bueckert et al. 2015). A szárazság csökkentően hat a termés mennyiségére. Doré et al. (1998) a szemszám, nitrogén táplálás és a tőszám szerepét vizsgálták a borsó termésképzésében, megfigyelésük alapján a borsótermés alapvetően a magszámtól függött, míg az átlagos magtömeg kevésbé változott a kísérleti évek alatt. Ugyanezt erősíti meg Bódis (1983), aki szerint a termés mennyiségét döntően a magszám és az ezermagtömeg határozza meg. A borsó fokozottan érzékeny a magas hőmérsékletre, amelynek hatásai szabadföldön a napi maximum 25-31 °C küszöbérték felett jelentkeznek (Lamichaney et al. 2021, Bueckert et al. 2015, Guillioni et al. 2003, Sadras et al. 2013), és különösen nagy kárt okoznak, ha a magas hőmérséklet tartósan fennáll (Balikó és Fülöp 2002). A virágzás menete alulról fölfelé történik, idejét egyaránt meghatározza az időjárás és a fajta is. A magas napi maximum hőmérséklet (31-34°C) a virágzás alatt, hasonlóan a vízhiányhoz negatívan hat a virágzás kezdetére. Meleg, száraz időben a virágzás menete gyorsan lefut, míg nyirkos, hűvös időjárás esetén lassú és vontatott lesz (Kiss 1980). A túlzottan meleg idő virág elhalást, pollen meddőséget, károsodott megtermékenyítést, csökkent szemtelítődést, és kisebb szemeket okoz (Iannucci et al. 2008, Jiang et al. 2020). Ellenben az aratás idején jelentkező nagyobb mennyiségű csapadék a termés minőségre lesz negatív hatással, és egyúttal nehezíti a betakarítás menetét (Balikó és Fülöp 2002). Összefoglalva tehát a borsótermés kialakulásában a döntő hatás az április-május hónap hőmérsékletében és a virágzást megelőző csapadék mennyiségében keresendő (Kiss 1980).

A szárazság és a magas hőmérséklet két olyan stresszfaktor, ami jelentős hatással lehet a búza terméshozamára. Kombinált stresszhatás gyakran érinti a búza növényeket, a károsodás mértékét jelentősen befolyásolja a növény feonológiai állapota (Balla et al. 2019). A búza kritikus időszaka a hőmérséklet tekintetében egyfelől a vernalizáció idején jelentkezik, de egyre több bizonyíték szolgál arra, hogy a hőstressz negatív hatással van a termésre és terméskomponensekre a generatív szakasz során is (Bányai et al. 2014). A küszöbértékek az egyes fejlődési szakaszokban jelentősen eltérnek. A búza kelése már +0.5/-1°C-on megindul, de erőteljessé 15-20 °C-on válik. A fiatal növény fejlettségi állapotban a 10-17 °C az ideális, amelyet fokozatos lehűlés követ. Az áttelelést követően a bokrosodáskor az optimális értéket fokozatos felmelegedés mellett a +13-18 °C napi középhőmérséklet között éri el. Kalászoláskor 18-21 °C, majd virágzáskor 19-22 °C napi középhőmérsékletet igényel (Pepó 2022). A virágzás körüli rövid ideig tartó magas hőmérséklet pollen sterilitást és az ivarsejtek abortálását okozhatja, ami visszafordíthatatlanul csökkenti a termékenységet és a kalászkán belüli szemszámot (Barnabás et al. 2008). Porter és Gawith (1999) szerint a virágzás körüli időszakban a búza maximum 31°C hőmérsékletet visel el a magok károsodása nélkül. Ennél magasabb hőmérséklet felgyorsítja a virágzás kezdetét és az érést, ezzel egyidejűleg jelentősen lecsökkenti a növény magasságát és a levelek növekedését (Bányai et al. 2014, Pepó 2022). Ugyanezt a megfigyelést tették Rahman et al. (2009), ahol a szemtelítődési időszak 3-12 nappal lett rövidebb a hőkezelés következményeképp. Öntözött és öntözetlen körülmények között Innes és Blackwell (1981) megfigyelte, hogy a korai aszály 4 héttel a virágzást megelőzően csökkentette a kalásonkénti szemek számát, a kései aszály ettől eltérően az átlag szemtömegre volt negatív hatással. Samarah (2005) ugyancsak a kései aszály hatását vizsgálta, és

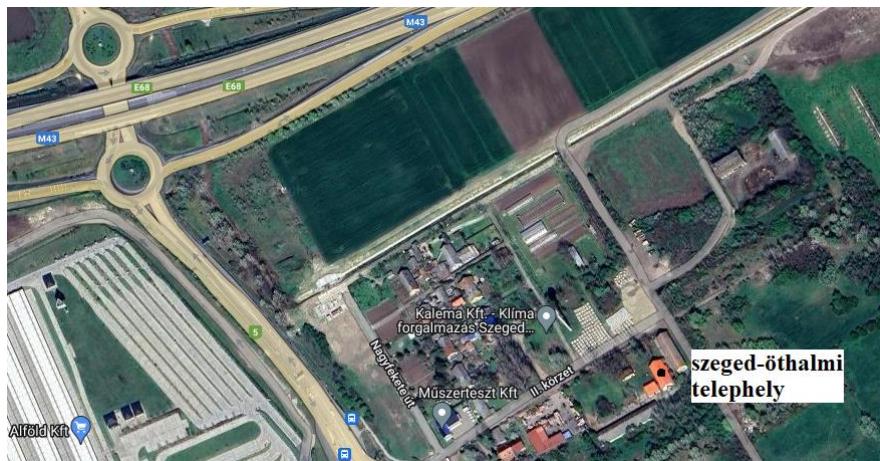
meglátása szerint a stressz hatásának mértékétől függetlenül negatív hatással volt a szemtermésre. Míg Shah és Paulsen (2003) szerint a magas hőmérséklet 45-60% csökkentette a szemtelítődési szakasz idejét. A búza érésekor a mérsékelt meleg időjárás (20-23 °C) elősegíti az érési folyamatokat. Az ekkor észlelt meleg és aszályos időjárás a szemek vízleadását gyorsítja fel, így az nem telítődik tápanyaggal, beszorul és ocsúszemeket okoz (Pepó 2022). A fejlődési fázisoktól függetlenül a terméshez kapcsolódó tulajdonságok az idő múlásával fokozatos romlanak, még 5 napos magas hőmérséklet is elegendő volt ahhoz, hogy jelentős negatív hatást okozzon (Balla et al. 2019). A búzafajták között nemcsak a termőképességükben, hanem a hőstresszre és aszályra való érzékenységükben is nagy eltérés van (Balla et al. 2019). Samarah et al. (2009) szerint a búzafajták közötti különbség nem időbeli eltolódást jelent a kalászosítás, vagy a szemtelítődés fázisának időtartamában, hanem a szemtermés különbségeiben–kalászkaszám/növény és szemszám/kalászkaszám–mutatkozik meg.

A búza vízigénye jelentősen változik az egyes fejlődési stádiumokban: míg a kelés időszaka sokszor kritikus, addig később ősszel a vízfelvétel mérséklődik. A legnagyobb vízigénye a szárba indulástól a virágzásig tart, ekkor az összes vízszükséglet 50-60%-át veszi fel. A második nagy turnus a szemtelítődési időszakában jön el, ekkor a teljes vízigény 15-20%-a szükséges számára. Érés idejére a mérsékelt meleg és száraz időjárás kedvező, ellenkező esetben az állományok visszanedvesednek, ami hátráltathatja a betakarítást, valamint termésmennyiségi és minőségi veszteséget eredményez (Pepó 2022).

6. Anyag és Módszer

6.1 Kísérleti hely elhelyezkedése

Kísérletem a Magyar Agrár,- és Élettudományi Egyetem Növénytermesztési-Tudományok Intézetének Szeged-Óthalom telepén végeztem három, egymást követő tenyészidőszakban (2020/2021, 2021/2022, 2022/2023). A telephely az M43-as és az 5-ös út találkozásánál fekszik (1. ábra), GPS koordinátája: 46,2915; 20,0882. A terület jól megközelíthető, kispácellás kísérlet végzésére kiválóan alkalmas terület, gépparkja jól felszerelt.



1. ábra. A szeged-óthalmi kísérleti telep fekvése

Forrás: <https://kincsekanapalatt.hu> (Csongrád-Csanád vármegye befektetésösztönzési katasztere)

A mintaterületen a kísérletet megelőzően 2020.10.05-én talajvizsgálat készült a talaj művelt (0-20 cm) rétegéből gyűjtött minta alapján, melynek eredményeit az 1. táblázatban foglaltam össze. Talaja mélyben sós réti csernozjom, humusztartalma 2.8-3.2%, kémhatása 7,9 pH. Arany-féle kötöttségi száma (KA): 42. Közepesen tömörödött, felső termőrétege száraz, mélyebben nedves jelleget mutat. Tápanyag ellátottsága nitrogénből közepes, foszfor és káliumból esetében pedig jónak mondható.

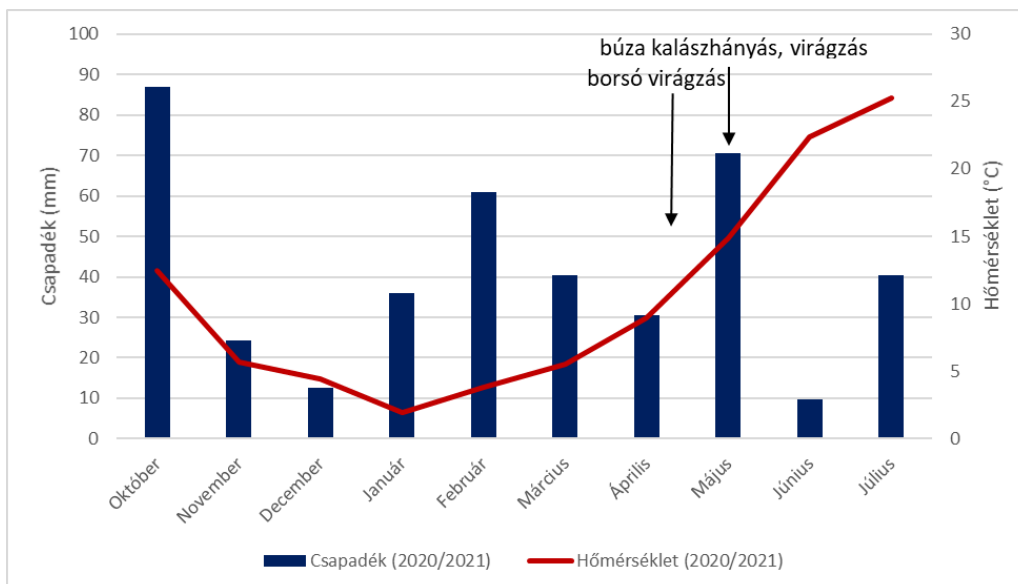
1. táblázat. A kísérleti terület talajvizsgálati eredménye

pH (KCl)	7,9
KA	42
Ca (m/m%)	1,88
CaCO ₃ (m/m%)	4,70
Humusz (m/m%)	2,94
NO ₃ -N+ NO ₂ -N+ (mg/kg)	24,0
P ₂ O ₅ (mg/kg)	248
K ₂ O (mg/kg)	209
Mg (mg/kg)	167

Na (mg/kg)	84
Zn (mg/kg)	0,9
Cu (mg/kg)	1,8
Mn (mg/kg)	22
Összes só (m/m%)	0,044
SO ₄ -S (mg/kg)	9,7
Fe (mg/kg)	14

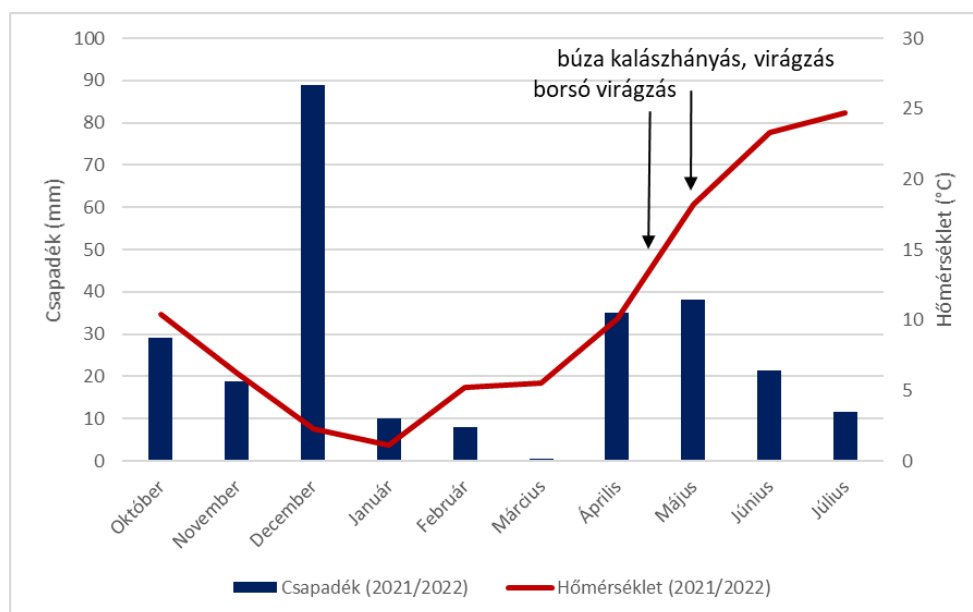
6.2 Kísérleti időszak időjárási viszonyai

Az első tenyészidőszakban (2020/2021) a vetés idején kifejezetten csapadékos időjárás volt jellemző, ami kedvező hatással volt mindkét társnövény fejlődésére. A borsó a kezdeti fázisban egyenletes vízellátottságot kíván, de ugyanez elmondható a búza részéről is, ahol a kritikus időszak a csapadékot tekintve a kelés időszaka. Bár a búza az őszi hónapokban mérsékelt vízigénnyel rendelkezik, a szárazabb november és december, valamint a téli hótakaró elmaradása ebben az évben a talaj vízháztartásának csökkenését idézte elő. A borsó legnagyobb vízigénye a virágzás és a szemtelítődés idején jelentkezik, ennek megfelelően 2021 áprilisa nem volt kifejezetten optimális, de a csapadékosabb május végett éppen elégnek bizonyult a fejlődéshez. A búza részéről a legnagyobb vízigény szárbaindulástól a virágzásig tart: az április és május ennek megfelelően a kalászdifferenciálódás szempontjából mindenképp kedvezően alakult. Különösen kevés csapadékot mértünk június hónapban, amely mindkét növény fejlődését némileg visszafogta: bár a borsó és a búza számára is ez az érés időszaka, de a borsó körülbelül két héttel járt a búza előtt. Így a csapadék elmaradása elsősorban a búzát érintette érzékenyebben, mivel a második vízigény maximuma a növénynek ebben az időszakban jelentkezik. Hőmérséklet tekintetében a búza szinte a teljes fejlődésmenet folyamán az optimális szint közelében maradt. A borsóvirágzás a növénytársításban hamarabb következett be, mint azt a szakirodalomban leírtak alapján várható lett volna. Ennek értelmében a virágzás idején ideálisnak leírt hőmérséklet is alacsonyabb volt a kísérleti év során. Egyik faj sem lépte át azt a kritikus felső küszöbértéket, amely negatív hatással bírt volna a társnövények fejlődésmenetére. Az első tenyészidőszak csapadék, illetve hőmérséklet adatait a 2. ábrán láthatjuk.



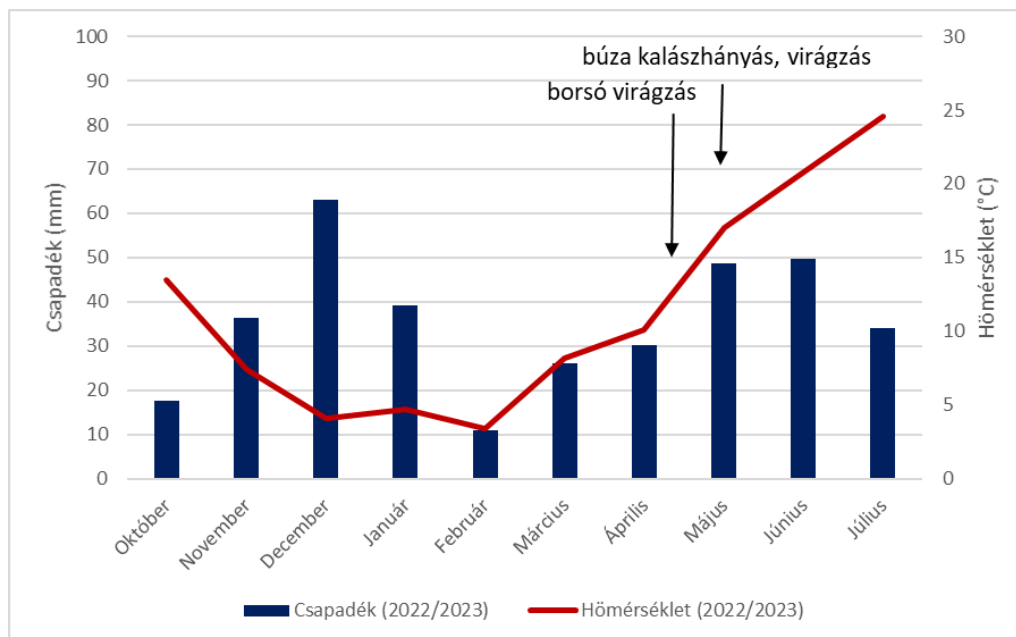
2. ábra. Hőmérséklet (°C) és csapadék (mm) adatok a 2020/2021-es tenyészidőszakban, a nyilak a társnövények virágzását jelölik

A második tenyészidőszakban (2021/2022) a szélsőséges, egyenetlen csapadékeloszlás volt jellemző. Október és november hónapban sokkal kevesebb csapadékot mértünk a megszokottnál. Ez a csapadékhiány érezhető volt a társnövények kelése, illetve a fiatal növények kezdeti fejlődése idején. Mind a borsó, mind a búza szempontjából kritikus volt az első két hónap, amelyet nem tudott kárpótolni decemberben az átlagot jóval meghaladó hirtelen lezúdult eső. A borsó vízigénye a virágzás és a szemtelítődés idején éri el a maximális értékét. Azonban a virágzás előtti erős csapadékhiány a legintenzívebb fejlődési szakaszban érte a növényt. A búza ebben a száraz időszakban a bokrosodás fázisában volt, amely az optimális kalászszaám kialakulására volt negatív hatással. A csapadékszegény hónapokat némileg enyhítette a csapadékosabb április és május, amely minkét növény számára a maximális vízigény időszaka. A búza részéről ugyancsak lényeges a szemtelítődés idej csapadék mennyisége, és bár a június hónap nem volt olyan száraz, mint az előző évben, de lényegében elmaradt az optimális szinttől. Ha a hőmérséklet szempontjából értékeljük az évet, azt láthatjuk, hogy, bár hűvösebb tél volt az előző évnél, de az átlag hőmérséklet ebben az évben sem süllyedt fagypontra alá. A február a megszokottnál kissé melegebb volt, de ez még nem okozott jelentős változást a társnövények fejlődésében. Ellenben a búza virágzása, illetve érésének idejére az optimálisnál magasabb hőmérséklet volt tapasztalható, a küszöbértéket meghaladó hőmérséklet értékei már május elejétől mérhetőek voltak és sok esetben hosszabb időszakon át kitartottak. Mindkét társnövény esetében erős felsülésnek, száradásnak lehettünk tanúi. A borsóhüvelyek felnyíltak és a magok idejekorán peregni kezdtek. A második tenyészidőszak időjárásának adatait a 3. ábrán követhetjük nyomon.



3. ábra. Hőmérséklet (°C) és csapadék (mm) értékeinek változásai a 2021/2022-es tenyészidőszakban, a nyilak a társnövények virágzását jelölik

A harmadik tenyészidőszakban (2022/2023) a három kísérleti év során mért legkevesebb csapadékkal kellett számolnunk a vetés idején, ami hátrányos kezdeti fejlődést eredményezett mindkét társnövény esetében. Ugyanakkor ezt a kezdeti hátrányt a téli hónapok csapadéka jelentős mértékben enyhítette, és nagy mennyiségű vízzel töltötte fel a talajokat. Ezt követően 2023 tavaszán újabb, némileg szárazabb periódus vette kezdetét, ami nem vált előnyére sem a borsónak az intenzív fejlődés időszakaszában, sem pedig a búzának a vízigény maximuma idején. Az ekkor elmaradt csapadékot nem tudták pótolni a későbbiekben tapasztalt esőzések, és az optimális szint alatti vízellátottság negatív hatással volt mind a búza, mind pedig a borsó virágzására és szemtelítődésére. Bár a csapadékeloszlás nem volt olyan szélsőséges, mint az előző tenyészidőszak során, a csapadékhiány a fejlődésmenet olyan kritikus időpontjában jelentkezett, ami kétségtelenül negatívan hatott mindkét növény termésképzésére. A hőmérséklet szempontjából a tenyészidőszak első fele az optimális szint környékén maradt, 2023 tavasza mérsékelten meleg volt az évszaknak megszokotthoz képest. A meleg napok május végével jelentkeztek, de fokozatos melegedést mutattak, így elegendő időt hagytak a növények akklimatizálódására. A napi hőmérsékletingadozás pedig nem volt oly nagymértékű, mint az azt megelőző évben. A 2022/2023 tenyészidőszak időjárásának adatait a 4. ábrán mutatom be.



4. ábra. A 2022/2023-as tenyészedőszakban mért hőmérséklet (°C) és csapadék (mm) adatok, a nyilak a társnövények virágzását jelölik

6.3 Kísérlet bemutatása

Kísérletemben a növénytársítás keverékvetés típusát használtam fel őszi búza és őszi borsó kombinálásával, ahol a parcellák véletlen blokk elrendezésben, 4 ismétlésben kerültek kialakításra. Az egyes parcellák mérete 9 m² volt. A magkeverékhez 3 őszi búza fajtát (GK Szilárd, Cellule, GK Csillag) és egy őszi borsó fajtát (Aviron) használtam fel. A vetéssűrűség meghatározásánál az általánosan elfogadott vetőmag mennyiséget vettem alapul, amely búza esetében 5 millió mag/ha, borsó esetében pedig 1 millió mag/ha jelentette a 100%-ot. Ehhez képest került kialakításra az 50%-os, illetve a 75%-os vetéssűrűség. Minden faj minden vetéssűrűségben keverésre került, így a társított parcellák száma 27 lett. Ehhez adódtak a tiszta vetésű parcellák, ezáltal a teljes parcellaszám 39-re módosult. A vetéssűrűség pontos értékeit a 2. táblázat szemlélteti.

2. táblázat. A kísérletben alkalmazott vetésarányok a helyi termesztési normához képest (vetőmag db/m²)

		Őszi borsó (vetőmag db/m ²)			
		0	50	75	100
Őszi búza (vetőmag db/m ²)	0	-	0:50	0:75	0:100
	250	50:0	50:50	50:75	50:100
	375	75:0	75:50	75:75	75:100
	500	100:0	100:50	100:75	100:100

Az elővetemény minden évben őszi búza volt. A három tenyészedőszakban a vetési idők a következők voltak: 2020. október 21, 2021. október 19 és 2022. október 12. A vetés Wintersteiger Plotman (Wintersteiger GmbH, Ried, Ausztria) parcellavetőgéppel (5. ábra), 12,5 cm sortávra, 4-6 cm mélyen, egy menetben végeztük. Az őszi búza és borsó vetőmagok egyaránt Rancona i-mix csávázószerrel (ipkonazol+imazalil) lettek kezelve 1 l/ha mennyiségben. Az őszi borsó esetében oltás nem történt. A mintaterületen öntözésre nem volt lehetőség. A kísérletet megelőző 5 évben

nem történt szerves trágya kijuttatás, a vetést megelőzően 200 kg/ha komplex NPK (15:15:15) műtrágya került kijuttatásra. Gyomírtást két alkalommal végeztünk a területen: preemergensen Sharpen 330 EC (pendimetalin) 4,5 l/ha dózisban, valamint posztemergensen Tropotox (MCPB Na) 2 l/ha és Benta 480SL (bentazon) kombinációját 2 l/ha mennyiségben. Mindkét esetben a borsó növények magassága nem haladta meg a 8-10 cm-t (BBCH 12). Fungicid kezelés egy alkalommal történt a tenyésztés során: Legado (azoxystrobin) 1 l/ha dózisban BBCH 34 búza fejlettség mellett. Inszekticid kijuttatás két időpontban: Mospilan 20SG-vel (acetamiprid) 0,2 kg/ha dózisban, és Karate Zeon 5 CS-vel (lambda cihalotrin) 0,2 l/ha mennyiségben. Az első esetben a borsó növények fejlettsége BBCH 64 volt, a második esetben a kijuttatás a búza BBCH 60, a borsó BBCH 74 mellett történt.

A betakarítás egy menetben, Wintersteiger Nurserymaster (Wintersteiger GmbH, Ried, Ausztria) parcellakombájnnal (6. ábra) az őszi búza éréséhez igazítva, annak teljes érésében (BBCH 89-92) végeztük el 2021. július 1-én, 2022. június 22-én, és 2023. június 30-án. Ebben az időpontban az őszi borsó már elérte a fiziológiai érettség állapotát.



5. ábra. Wintersteiger Plotman típusú parcellavetőgép

Forrás: a szerző fotói



6. ábra. Wintersteiger Nurserymaster parcellakombájn

6.4 A kísérletben felhasznált fajták és jellemzésük

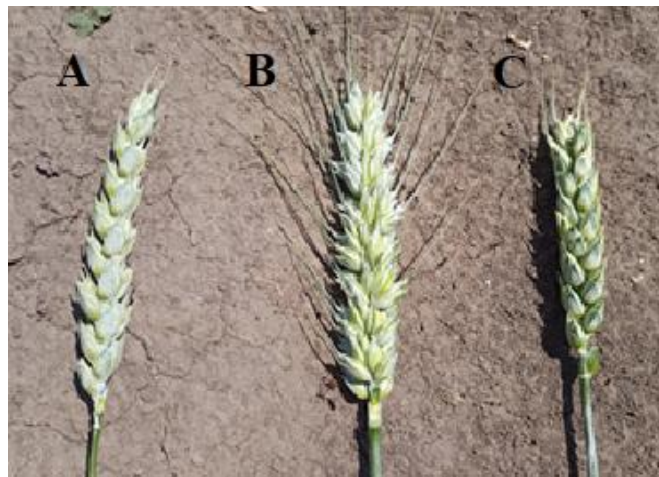
A GK Szilárd középérésű, tar kalászú, malmi minőségű őszi búzafajta. A környezeti tényezőkhez jól alkalmazkodik, a szárazságot jól tűri, termőképessége kimagasló. Rostban gazdag szalmája miatt papírgyártásban, jó nedvszívó bél szerkezete miatt az állattenyésztésben alomként hasznosítható. 80-90 cm magassága kiválóan alkalmas a borsó támasztószerepének betöltésére. Energianövényként a szalmatüzelésű kazánok alapanyaga lehet. Átlagos bokrosodási erély jellemzi. Intenzív termesztési feltételek mellett magas biológiai össztermést produkál. Termőképessége 7,5-9,5 t/ha közé tehető. Minőségi mutatói: nedves sikértartalom 28-32%, nyersfehérje 12,5-14,5 %, Zeleny (szedimentációs érték) 35-45 ml. Levélrozsa ellen ellenálló, lisztharmat és szárrozsa ellen mérsékelten, sárgarozsa, fuzárium, levélfoltosság ellen közepesen ellenálló fajta.

A Cellule szálkás, középérésű, jól bokrosodó, malmi minőségű őszi búzafajta, amelyet kedvezőtlen körülmények között is magas termésbiztonság és tápanyagfelhasználás jellemez. Jól alkalmazkodik az eltérő talaj és éghajlati viszonyokhoz. Kiemelkedő tápanyagreakciójú, nitrogénhasznosító képessége mellett rozsdabetegségekre és szeptóriára magas ellenállóságot mutat. Lisztharmat és fuzárium ellenállósága jó. Alacsony szárú (85 cm), kiváló állóképességű fajta. Akár szárerősítés nélkül is kiválóan termeszthető. Hazánkban a második legnagyobb

menyiségben fémező bű. Terméspotenciálja: 9-12 t/ha. Minőégi mutatói: fehérjetartalom 12.5 % felett, nedves síkértartalom 28-34%, szedimentációs érték (Zeleny index) 48-54 ml.

A GK Csillag korai-középkorai érésű, tar kalászú, malmi minőségű őszi búzafajta. Kiemelkedő termőképességű, kiváló alkalmazkodó képessége révén magas és kiegyenlített hozamokat biztosít. Szemeinek pelyvalevele vékony, áttetsző, könnyen és tisztán csépelhető. Éretten acélos, piros színű szemtermése van. Előveteményre nem érzékeny, tápanyag reakciója jó. Állóképessége, megdőléssel szembeni ellenállósága jó. Bokrosodási erélye kiváló. Magyarországon az egyik legnagyobb területen termesztett fajta, területi részaránya évről évre nő. Magassága 75-90 cm. Termőképessége: 6,5-9 t/ha. Minőségi mutatói: Zeleny index 45-55 ml, nedvessíkér tartalom 28-34%, nyersfehérje tartalom 12.5-14%. Lisztharmattal szemben ellenálló, levélrozsa és levélfoltosságok ellen mérsékeltén, szározsa, sárgarozsa, fuzárium ellen közepesen ellenálló fajta.

A kísérletben alkalmazott őszi búzafajták kalászeit a 7. ábrán láthatjuk.



7. ábra. A kísérletben felhasznált őszi búzafajták kalászeit (A: GK Szilárd, B: Cellule, C: GK Csillag)

Forrás: a szerző fotója

Az Aviron (8. ábra) féllevélkés típusú, középérésű őszi borsófajta. Zöld magvú, száraz kifejtőborsó, amely egyaránt alkalmas emberi fogyasztásra, és takarmányozásra is. Középmagas (70-85 cm), virága fehér színű. Kiváló télállóságának köszönhetően alapvetően őszi vetésű fajta. Betegségekkel szembeni jó ellenállóképességgel rendelkezik. Termőképessége hazai körülmények között 4-5,5 t/ha.



8. ábra. Virágzó őszi borsó parcella (Aviron) növénytársításban

Forrás: a szerző fotója

6.5 Fenológiai fázisok megfigyelései

A társnövények fejlődésmenetének a megfigyelését a kísérlet során több alkalommal végeztem, amelyekről jegyzőkönyvet vezettem. Ennek folyamán minden parcellából véletlenszerűen 5 búza és 5 borsó növényt választottam ki, majd a minták alapján feljegyeztem a társnövények fejlettségi fokát, és a gabonafélék és a borsó hivatalos BBCH határozókulcsa (Meier 2001, Witzemberger et al. 1989, Lancashire et al. 1991) segítségével pontosan meghatároztam a fejlődési fázisukat. Növénytársítás esetében a betakarítási idő a hosszabb tenyészidejű társnövényhez igazodik, amely jelen esetben az őszi búza volt. Kísérletemben tehát az aratás idejére a búza teljes érésben volt (BBCH 89), míg a borsó körülbelül másfél-két héttel hamarabb érte el a fiziológiai érettség állapotát, így a növény óhatatlanul a túlérettség fázisába került. A bonitálás időpontjait a 3. táblázatban foglaltam össze.

3. Táblázat. Az állományban végzett bonitálások időpontjai a három kísérleti év során

Tenyészidőszak	Bonitálás időpontjai							
2020/2021	03.31	04.26	05.26	06.10				
2021/2022	04.11	05.02	05.16	06.03				
2022/2023	04.28	05.04	05.10	05.18	05.26	06.05	06.14	06.20

A borsó fejlődési küszöbértéke 4.4 °C, az ez alatti hőösszeget a borsó nem tudja hasznosítani (Nagy 2000, Kismányoky 2005). Pepó (2022) szerint ugyanez a küszöbérték a búza esetében 1.5 °C. A hőegység elmélet segítségével határozzák meg a borsófajták hasznos hőegység igényét a tenyészidő során, ez az érték a szakaszos vetés tervezésénél kap jelentőséget. Ugyanakkor a társnövények fejlődés vizsgálatakor lényegesnek tartottam mindkét faj hőösszegének számítását,

mivel feltételeztem, hogy a vizsgált fajok egymásra hatása az érési időben is megmutatkozik. A fejlődéshez szükséges napi hasznos hőegység számítása a napi középhőmérsékletből levont hőmérsékleti küszöbérték alapján történik (Kiss 1980) a következő egyenlet alapján:

$$\text{napi hasznos hőegység } [^{\circ}\text{C}] = \frac{\text{napi max.} + \text{napi min.}}{2} - \text{küszöbérték } [^{\circ}\text{C}] \quad (1)$$

A harmadik kísérleti évben összesen 8 alkalommal történt magasság mérés az állományban mindkét társnövényt illetően. Ezek az alkalmak a következők voltak: 03.24, 04.12, 04.26, 05.02, 05.10, 05.19, 05.26, 06.05. A mérések során az értékek cm-ben lettek meghatározva, az őszi búza esetében ez az érték a föld feletti növényrész magasságát jelentette a legfiatalabb levéllel bezárólag. A kalász mérése a Cellule esetében szálla nélkül történt. Az őszi borsó magasságánál a minimális megdőlés miatt a mérőszalaghoz igazítottam a növényt. A magasság értéket a legfelső levélszint (kacs nélkül) földtől mért távolsága adta.

6.6 Elvégzett vizsgálatok és eszközei

A teljes gyökeres növényminták gyűjtése közvetlenül az aratást megelőző időpontban (2021. 06. 29-én, 2022.06.21-én, 2023.06.23) történt. A mintákat egységnyi területről (1 m) mérőbot segítségével gyűjtöttem. A mintavétel idejét úgy határoztam meg, hogy mindkét társnövény elérje a teljes érés fázisát (BBCH 89). A növényminták feldolgozását a Magyar Agrár,- és Élettudományi Egyetem Növénytermesztési-Tudományok Intézetének Szeged-Öthalom telepén végeztem. A kalászcseplése Wintersteiger LD 180 ST 4 (Wintersteiger GmbH, Ried, Ausztria) kalászcseplővel történt. Az egyes termés elemeket Precisa 300 C (Precisa Gravimetrics AG, Switzerland) kézi mérleg segítségével mértem le. A társnövények fejlődésének vizsgálatát Sváb típusú kumulatív termés elem elemzéssel végeztem (Sváb 1962). Az őszi búza esetében meghatároztam a tőszámot, hajtásszámot, kalászszaámot, kalászkaszaámot, szemszaámot és szemtömeget. Az őszi borsónál az előbbihez hasonlóan a tőszámot, hajtásszaámot, hüvelyszamaát, szemszaámot és szemtömeget vizsgáltam. A kumulatív termés elemzés fázisvégtermékekkel számol, ahol minden termés elem értéke egységnyi területre vonatkozik, és a növény fejlődési szakaszait követi. A fázisvégtermékek az egyes fejlődési szakaszok befejező állapotát, végtermékét mutatják be. Ennél fogva adott fázisvégtermék az azt megelőző összes fejlődési fázis kumulatív hatását fejezi ki. Grafikus ábrázolás esetén a társnövények teljes fejlődés menet alakulása láthatóvá válik, és kifejezésre jut, hogy mely fejlődési fázisban hatottak egymásra. A kísérletemben a vízszintes tengely (x) az egységnyi területen mért termés elemeket mutatja (1m), a függőleges tengely (y) pedig a termés elemek százalékos értékeit mutatja az alap értékhez viszonyítva (=ami jelen esetben a tiszta parcella értékeit jelenti). A fázisvégtermék pontokat keverékenként vonallal összekötve a növény társítás relatív fejlődés menetét kaptam a tiszta állományokhoz viszonyítva, amely egyben az őszi búza, illetve borsó fejlődési irányát és intenzitását is jelöli.

A betakarítást követően Demandy TCS-300 (Demandy Hungary Mérleg Kft., Hungary) raktári mérleg segítségével megmértem a parcellából aratott magok súlyát, majd a minőségi paraméterek méréséhez 1 kg mintát papírzacskóba tettem. A magok tisztítását Pfeuffer SLN3 Sample Cleaner (Pfeuffer GmbH, Germany) géppel, és szükség esetén kézi rostával végeztem. A minőségi paraméterek mérése InfratecTM NIR Grain Analyser (Foss, Denmark) készülékkel történt. Az őszi búza esetében a nyers fehérje-, sikértartalom, szedimentációs érték (Zeleny), valamint a W érték került meghatározásra. Őszi borsó esetében a nyers fehérje tartalmat határoztam meg.

6.7 Kölcsönhatás számítás menete

A növény társítás előnyeinek és a társnövények közötti versengés hatásának mérésére számos kompetíciós index létezik. A területarányos hozam index (LER) a növény társítás hatékonyságának mutatója a rendelkezésre álló erőforrások kihasználásával a tiszta állományokhoz képest. Kritikus

értéknek az 1 egész tekinthető. Amennyiben a LER érték meghaladja az 1-et, a társítás kedvez a társnövények fejlődésének és terméshozamának. Míg ha a LER kisebb, mint 1, a keverékvetés hátrányos a társnövények számára mind a fejlődés, mind a terméshozam szempontjából.

A LER számítása Willey és Rao (1980) alapján történt (Egyenlet 2-4.):

$$LER = (LER_w + LER_p), \quad (2)$$

$$LER_w = (Y_{wi}/Y_w), \quad (3)$$

$$LER_p = (Y_{pi}/p), \quad (4)$$

ahol Y_w és Y_p a tiszta vetésű őszi búza és őszi borsó terméshozama, valamint Y_{wi} és Y_{pi} az őszi búza és őszi borsó terméshozama növénytársításban.

Az agresszivitást (A) gyakran használják annak jelzésére, hogy az egyik társnövény relatív termésnövekedése mennyivel nagyobb, mint a másiké keverékvetés esetén (Dhima et al. 2007, Ghosh 2004). Ha $A=0$, akkor mindkét növény versenyképessége egyenlő. Ha A_w pozitív, akkor a búza faj domináns a társításban. Ha A_w negatív, akkor a borsó domináns a keverékben.

Az agresszivitás a következő egyenletből származik (5. és 6. Egyenlet):

$$A_w = \left(\frac{Y_{wi}}{Y_w \cdot Z_{wi}} \right) - \left(\frac{Y_{pi}}{Y_p \cdot Z_{pi}} \right), \quad (5)$$

$$A_p = \left(\frac{Y_{pi}}{Y_p \cdot Z_{pi}} \right) - \left(\frac{Y_{wi}}{Y_w \cdot Z_{wi}} \right). \quad (6)$$

ahol Z_{wi} az őszi búza vetéssűrűsége a keverékben, Z_{pi} pedig a keverékbe vetett őszi borsó vetéssűrűsége.

A versenyképességi/kompatibilitási arány (CR) egy másik módszer a társnövények közötti kompetíció értékelésére (Willey és Rao 1980). A CR a társnövényekre vonatkozó LER értékek hányadosát jelenti a vetéssűrűségek figyelembe vétele mellett. Ezáltal teljesebb képet kaphatunk a fajok kompetitív képességéről.

A CR -t a következő képlettel számíthatjuk ki (Egyenlet 7-9.):

$$CR = CR_w + CR_p, \quad (7)$$

$$CR_w = \left(\frac{LER_w}{LER_p} \right) - \left(\frac{Z_{pi}}{Z_{wi}} \right), \quad (8)$$

$$CR_p = \left(\frac{LER_p}{LER_w} \right) - \left(\frac{Z_{wi}}{Z_{pi}} \right), \quad (9)$$

Ha $CR_w < 1$, akkor előnyösebb növénytársításban termesztani az adott növényt, ha $CR_w > 1$, akkor előnytelen társítani a növényt. Ennek ellenkezője igaz a borsó esetén.

Banik et al. (2000) szerint a tényleges termésveszteség index (AYL) pontosabb információt nyújt a társnövények fajon belüli és fajok közötti versengéséről, valamint a fajok viselkedéséről a többi versenymutatóval szemben, mivel ez a mutató az egy növényre eső hozam értéken alapul. Az AYL a társított növények arányos termésvesztesége, vagy nyeresége az ehhez tartozó tiszta vetéssel szemben. Az AYL értékei lehetnek pozitívak és negatívak, a növénytársítás előnye és hátránya alapján.

Az AYL -t a következők alapján számítottam ki (10. Egyenlet):

$$AYL = AYL_w + AYL_p, \quad (10)$$

$$AYLw = [(Y_{wi}/Z_{wi})/(Y_w/Z_w)] - 1, \quad (11)$$

$$AYLp = [(Y_{pi}/Z_{pi})/(Y_p/Z_p)] - 1, \quad (12)$$

A gazdasági előny (MAI) és a növénytársítás előny index (IA) a növénytársítás anyagi előnyeiről nyújt képet.

A MAI értékek számítása a LER alapján történik Ghosh (2004) nyomán (13-14. Egyenlet):

$$MAI = (\text{társított növények értéke}) \cdot [(LER - 1)/LER], \quad (13)$$

ahol a társított növények értéke a következő egyenlet alapján számítandó:

$$Y_{pi} \cdot P_p + Y_{wi} \cdot P_w, \quad (14)$$

P_p az őszi borsó kereskedelmi értéke adott évben a betakarítás napján. 2021-ben ez az érték 94820 Ft/t, 2022-ben 116414 Ft/t, 2023-ban pedig 98538 Ft/t volt. P_w az őszi búza kereskedelmi értéke adott évben a betakarítás napján. 2021-ben 1 tonna őszi búza kereskedelmi értéke 75119 Ft, 2022-ben 131687 Ft, 2023-ban 80515 Ft volt. A kereskedelmi értékeket a Központi Statisztikai Hivatal adatbázisa alapján határoztam meg (Internet 2, 3).

A növénytársítás előny index (IA) Banik et al. (2000) alapján a következőképpen került számításra (15-17. Egyenlet):

$$IA = IAw + IAp, \quad (1)$$

$$IAw = AYLw \cdot P_w, \quad (2)$$

$$IAp = AYLp \cdot P_p, \quad (3)$$

Minél magasabb az index értéke, annál jövedelmezőbb a növénytársítás, mint termesztési rendszer.

6.8 Statisztikai módszerek

Az őszi búza termésmennyiség és minőségi értékeinek, az őszi borsó termésmennyiség és minőségi értékeinek, valamint a kompetíciós index értékeinek statisztikai elemzését többváltozós varianciaanalízis segítségével (MANOVA), 3 tényezős véletlen blokk elrendezésben végeztem, ahol a 'fajta' tényező az őszi búzafajtákat jelöli, a 'Zwi' az őszi búza vetésaránya keverékben, a 'Zpi' pedig az őszi borsó vetésaránya társításban. A kísérlet minden tenyészidőszakban véletlen blokk elrendezésben került kialakításra 4 ismétlésben, összesen 27 db növénytársított parcellában. A MANOVA értékelése Wilk's lambda nem magyarázott variancia hányad mellett történt. A MANOVA eredményeket követően 3 tényezős véletlen blokk elrendezésű ANOVA tesztet végeztem Bonferroni korrekcióval az 1. típusú hibalehetőség elkerülése végett. A kompetíciós indexek esetében a lineáris modell normalitási körülményeinek biztosítására a LER, CR és AYL értékeket transzformáltam. A modell maradványainak normalitása minden esetben elfogadásra került a ferdeség és a csúcsosság abszolútértéke alapján. A homogenitás vizsgálat Levine teszttel történt ($p > 0.05$). A szignifikáns tényezők esetében post hoc tesztet végeztem a búza és borsó termésmennyiség és a búza minőség értékeinél Games-Howell, a borsó termésminőség és a kompetíciós indexek esetében pedig Tukey módszer szerint. Végül homogén fajtacsoportokat különítettem el minden $Zwi \cdot Zpi$ kombinációnál, míg a Zwi és Zpi szinteket hasonlítottam össze az összes fajta $\cdot Zwi$ és fajta $\cdot Zpi$ kombinációval. Az eredményeket a három kísérleti év tekintetében évenként mutatom be. Minden statisztikai elemzést az IBM SPSS v. 29 statisztikai szoftver segítségével végeztem (Internet 4).

7. Eredmények

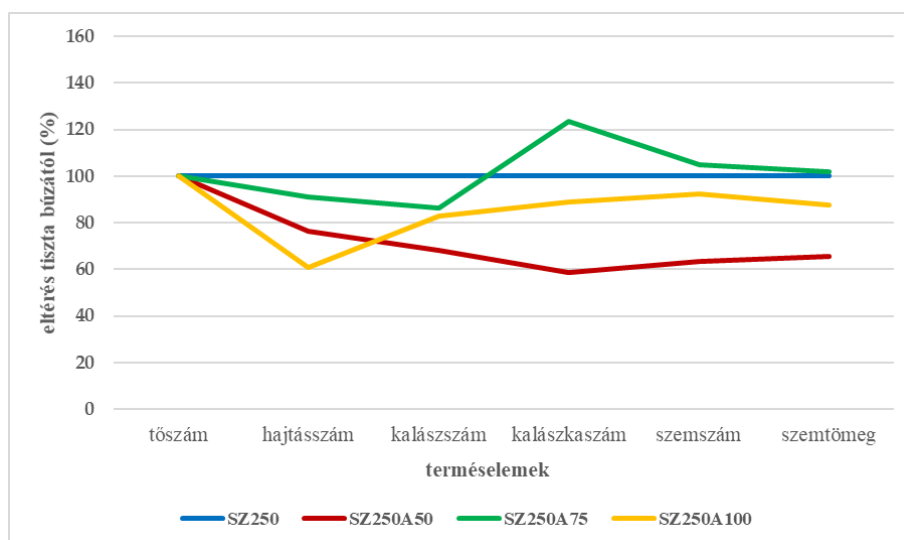
7.1 Terméselemek vizsgálata

7.1.1. Az őszi búza Sváb-féle kumulatív terméselemzése

A Sváb-féle kumulatív terméselemzést a jobb átláthatóság végett évenként, valamint az egyes vetésarányok szerinti bontásban veszem végig. Minden esetben a 100%-ot a tiszta vetésű parcellák adták (kék vonal), és ehhez hasonlítottam a társított parcellák eredményét (50 db/m² piros vonal, 75 db/m² zöld vonal, 100 db/m² sárga vonal). Az y tengelyen a tiszta vetéstől való eltérést tüntettem fel százalékos értékben.

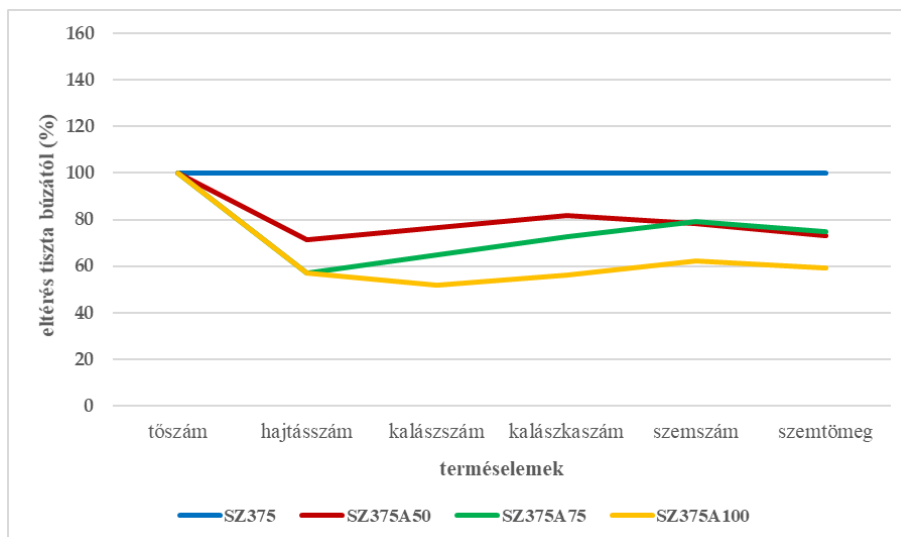
7.1.1.1. GK Szilárd fejlődésmenete növénytársításban 2021-ben

Az első kísérleti évben a tiszta vetés értékeit a GK Szilárd 250 db/m² és Aviron 75 db/m² kombinációja haladta meg a kalászkaszám fázistól kezdődően. Ebben a fázisban 23 % eltérés volt, amely a szemszám tekintetében 4%, a szentőmeget illetően pedig 2% különbséget jelentett. Ehhez képest a másik két vetéssűrűség a fejlődésmenet egésze alatt kisebb értékeket mutatott, mint önálló vetésben. A legmélyebb pont az Aviron 50 db/m² keverékében a kalászkaszám idején (60%-a a tiszta vetésnek), az Aviron 100 db/m² keveréke pedig rögtön a hajtásszám tekintetében mintegy 42%-kal volt kisebb a kontrollnál. A 250 db/m² vetéssűrűségű GK Szilárd fejlődésmenete Avironnal való társításban a 9. ábrán látható.



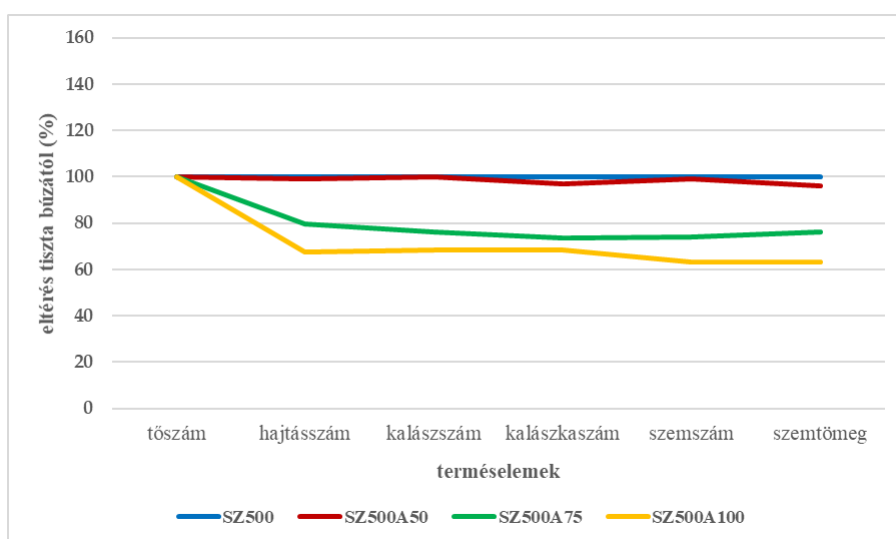
9. ábra: GK Szilárd és Aviron keverékeinek fejlődésmenete 250 db/m²vetéssűrűség mellett 2021-ben

A GK Szilárd 375 db/m²vetéssűrűsége és az Aviron minden keverékvetése alacsonyabb értékeket ért el a tiszta állományhoz képest (10. ábra). A negatív lejtmenet már a kezdetektől indult, és az egész fejlődésmenet alatt egy szinten maradt az őszi borsó vetéssűrűségétől függetlenül. A kontroll parcellához mért legnagyobb veszteséget a legmagasabb (100 db/m²) borsó vetésarány mellett tapasztaltam.



10. ábra: GK Szilárd terméselemei társításban 375 db/m² vetéssűrűség mellett 2021-ben

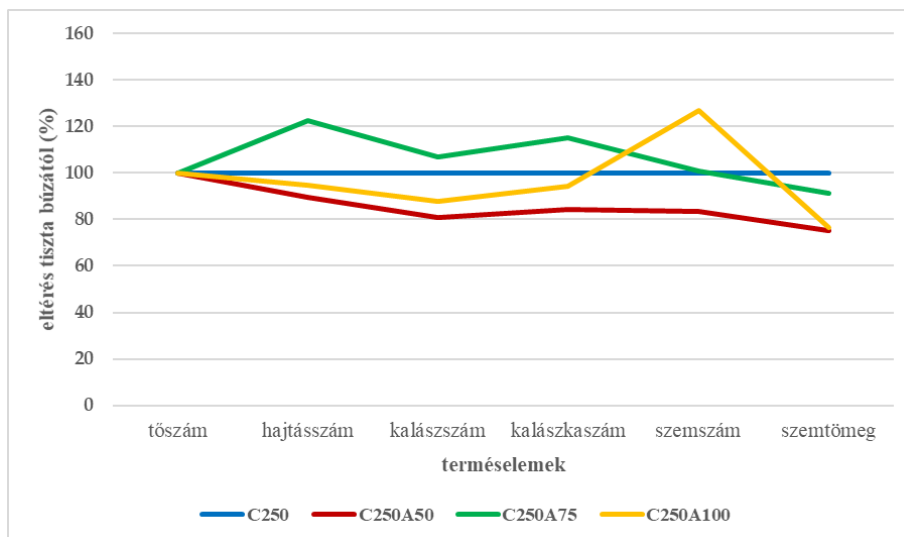
A GK Szilárd legnagyobb vetéssűrűsége (500 db /m²) nagyon hasonló képet mutatott az előző vetéssűrűséghez képest a különbséggel, hogy a legkisebb borsó vetéssűrűséggel (50 db/m²) való társításban szinte a teljes fejlődés menet során megközelítette a tiszta vetés egyes fázisainak értékeit. A másik két társítás esetében mélyen a kontroll szint alatt maradtak az értékek az összes fejlődési fázisban. Az 500 db/m² vetéssűrűségű GK Szilárd fejlődés menete Avironnal való társításban a 11. ábrán látható.



11. ábra: Fejlődés menete a GK Szilárd legmagasabb vetéssűrűsége (500 db/m²) esetén 2021-ben

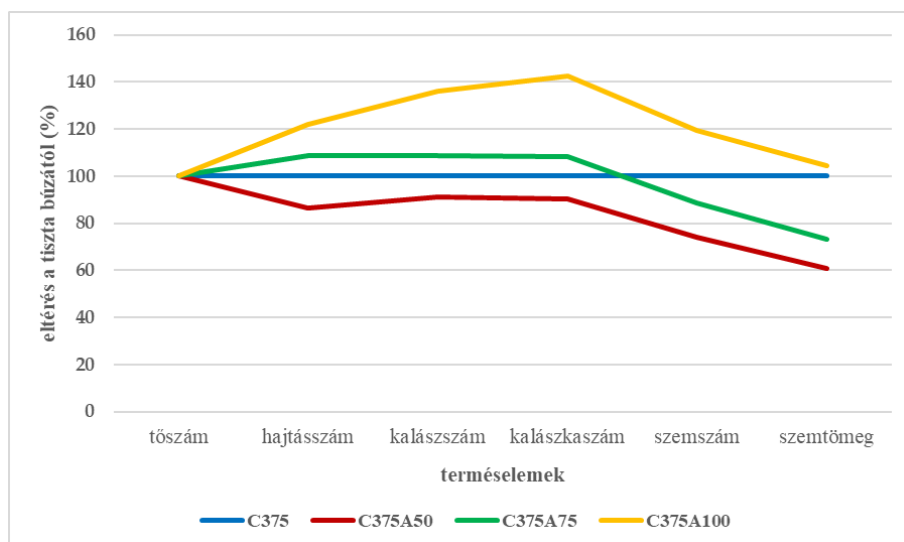
7.1.1.2. Cellule fejlődési görbéje növénytársítás esetén 2021-ben

A Cellule 250 db/m² és Aviron 75 db/m² keveréke egészen a szemszám fázisig erősebben fejlődött, mint azt a tiszta vetésű parcella esetében láthattam (12. ábra). Mégis a szemtömeg fázisban 9%-kal maradt el a kontroll értékétől. Ugyanez a búza vetéssűrűség az Aviron 100 db/m² keverékével egy előnytelen kezdet után kimagasló szemszámot mutatott (kontroll+26%), a szemtömege azonban nem érte el a tiszta parcella szintjét sem. A harmadik társítás fejlődés menete végig negatív irányú volt.



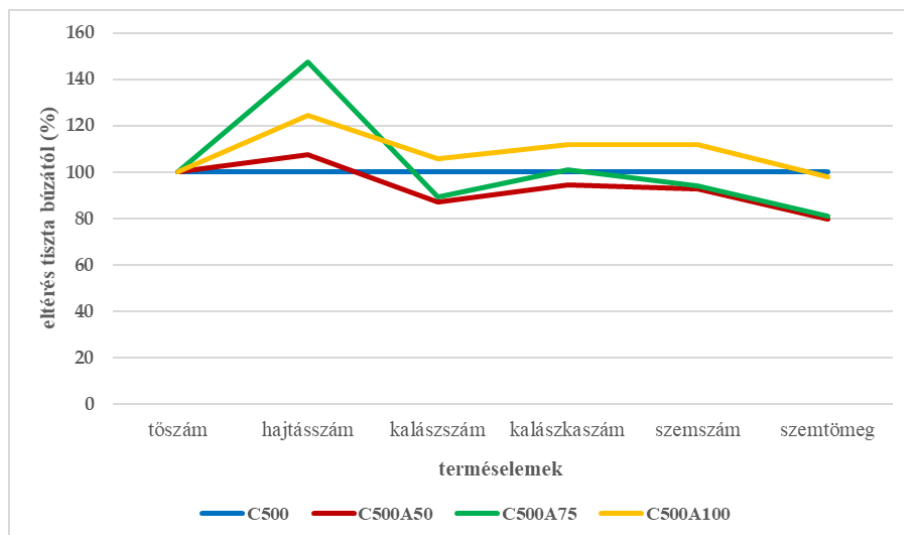
12. ábra: A Cellule társításainak fejlődési fázisai 250 db/m² esetén 2021-ben

A Cellule és Aviron társítások fejlődés menet görbéjének lefutása szinte azonos volt a búza középső vetéssűrűsége mellett. Minél nagyobb volt a keverék borsó aránya, annál inkább meghaladta az egyes fázisok értéke a tiszta vetés szintjét. Negatív fejlődés menet a kalászkaszám fázist követően figyelhető meg, amely a 100 db/m² borsó társítás esetében is mindössze 4%-kal múlta felül a kontroll értékét. A 375 db/m² vetéssűrűségű Cellule fejlődés menete Avironnal való társításban a 13. ábrán látható.



13. ábra: Társított parcellák fejlődés menete Cellule 375 db/m² mellett 2021-ben

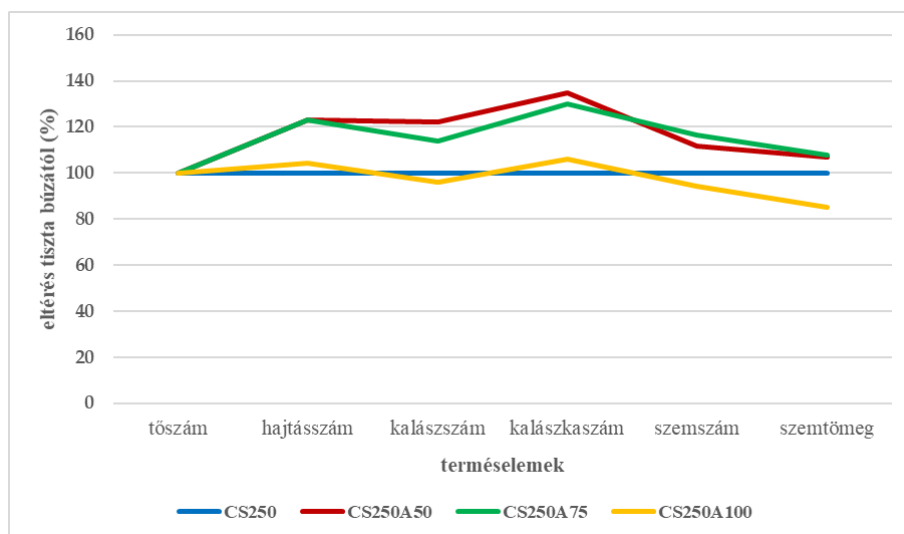
A Cellule legmagasabb vetéssűrűsége (500 db/m²) és a borsó kombinációi növekvő tendenciát mutattak a hajtásszám fázisban az első évben (14. ábra). Míg a 75 db/m² borsó keverék értékei visszaestek ezután, addig a másik két vetéssűrűség közel párhuzamos lefutású fejlődési görbét járt be. A szentőmeg fázisban azonban valamennyi társítás a kontroll szint alá csökkent.



14. ábra: Cellule 500 db/m² vetéssűrűségű társítás fejlődésmenete 2021-ben

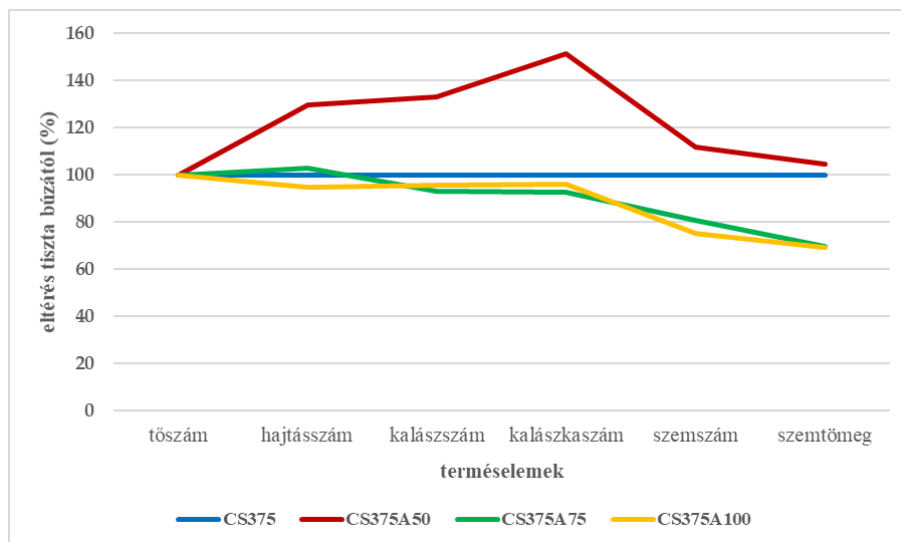
7.1.1.3. GK Csillag fejlődési fázisai növénytársításban 2021-ben

A harmadik őszi búzafajta, a GK Csillag egyes fejlődési fázisainak értékei a legtöbb esetben felülmúlták a kontroll szintjét. Ez teljesült a GK Csillag legkisebb vetéssűrűsége (250 db/m²) és az Aviron 50, illetve 75 db/m² keveréknél is. Ezzel szemben a harmadik vetéssűrűség fejlődési görbéje közel a tiszta vetés értékei körül mozgott, majd a szentőmeg fázisban 15%-kal csökkent a kontroll szint alá. A 250 db/m² vetéssűrűségű GK Csillag fejlődésmenete Avironnal való társításban a 15. ábrán látható.



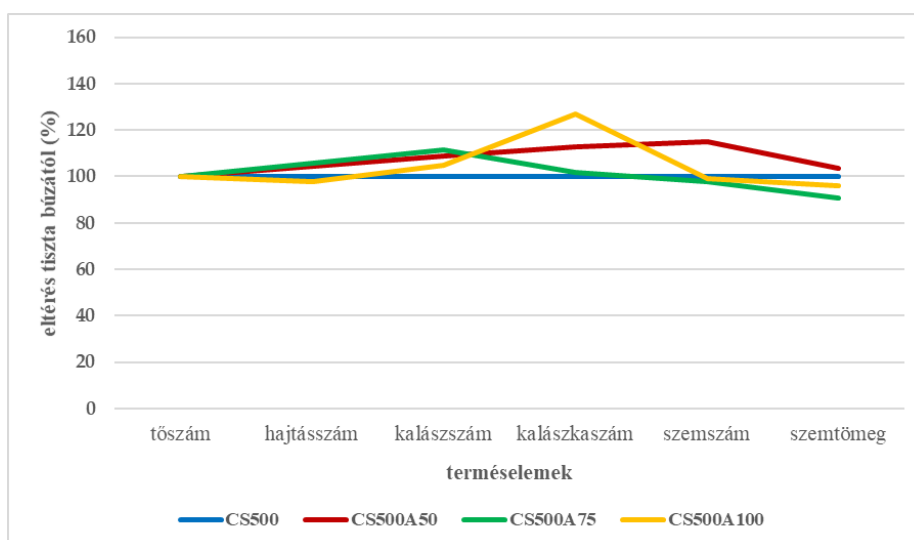
15. ábra: GK Csillag növénytársításainak fejlődésmenete 250 db/m² mellett 2021-ben

A 16. ábra a GK Csillag őszi búzafajta 375 db/m² vetéssűrűségének fejlődési görbéit szemlélteti változó borsó arány mellett. Az első évben az 50 db/m² vetéssűrűségű borsó keverék érte el a legmagasabb mért értéket a tiszta vetéshez képest. Ez 11 %-os szemszám növekedést, valamint 4% többletet jelent a szentőmeg tekintetében. A másik két növénytársítás esetében a fejlődési folyamat kezdetétől csökkenő tendencia figyelhető meg.



16. ábra: A GK Csillag-Avion keverékek fejlődésmenete a búza 375 db/m²vetéssűrűsége esetén 2021-ben

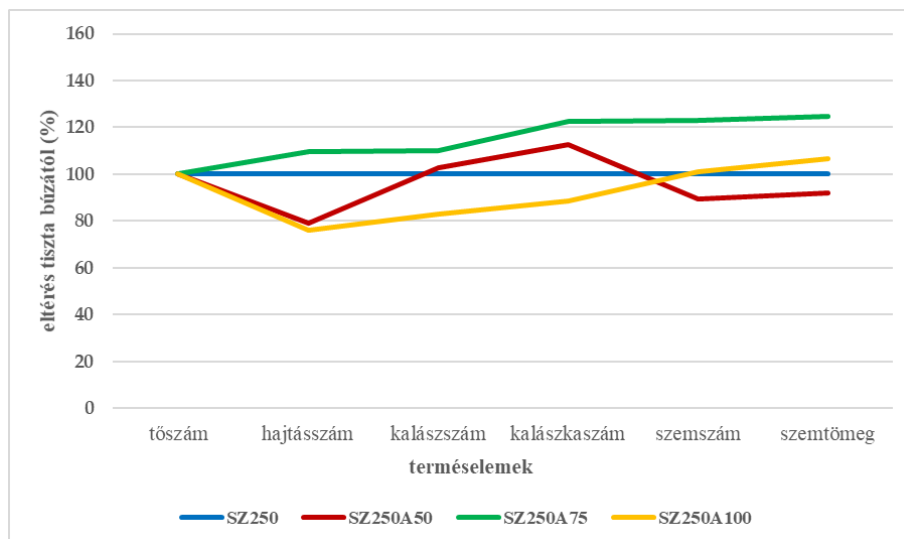
A 17. ábrán a GK Csillag-Avion fejlődésmenetét láthatjuk az őszi búza legmagasabb vetéssűrűsége (500 db/m²) esetében. 2021-ben a búza a borsó vetéssűrűségétől függetlenül elviselte a társnövény jelenlétét. Az egyes fejlődési szakaszokban mért értékek megközelítették a kontroll szintet, bár a fejlődési folyamat végére már csak az 50 db/m² borsókeverék őrizte meg előnyét. Mindkét faj legnagyobb vetéssűrűsége esetén a kalászkaszám fázis kiemelkedő értékei ellenére ez a helyzeti előny a későbbi fejlődési szakaszokban nem mutatkozik meg.



17. ábra: GK Csillag növénytársításainak fejlődésmenete 500 db/m²esetén 2021-ben

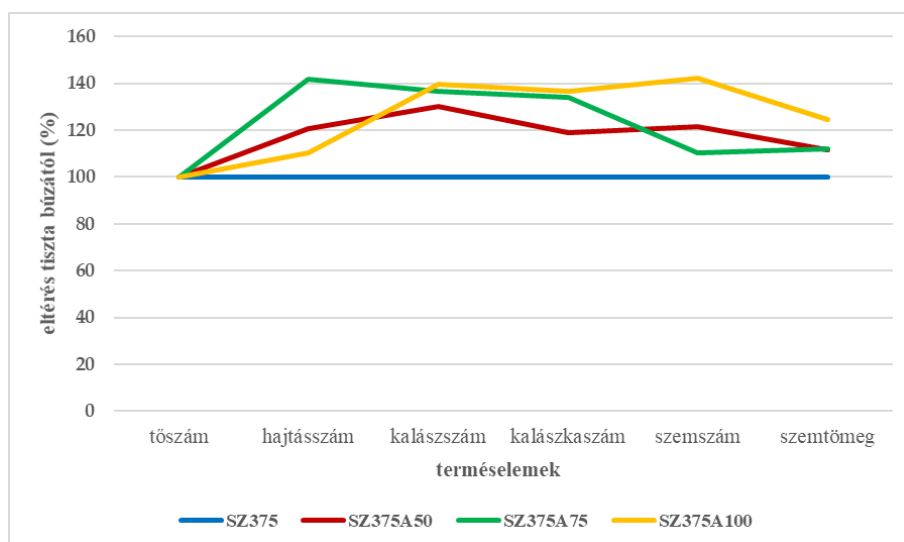
7.1.1.4. GK Szilárd fejlődési fázisai növénytársításban 2022-ben

A második kísérleti évben a GK Szilárd 250 db/m² vetéssűrűsége esetében az Avion 75 db/m² vetéssűrűsége mellett a kezdetektől pozitív irányú fejlődési görbét mutatott, ami a szemszám fázisra 23%-kal, a szemtömeg szakaszra 24%-kal haladta meg a kontroll szintjét (18. ábra). A minimális vetéssűrűség mindkét faj részéről csupán a kalászsorszám és a kalászkaszám tekintetében eredményezett a tiszta vetést meghaladó terméselem értékeket. A 100 db/m² vetéssűrűségű borsókeverék emelkedő tendenciát mutatott a fejlődésmenetben, a szemtömeg fázisban +6%-on állt meg a kontrollhoz képest.



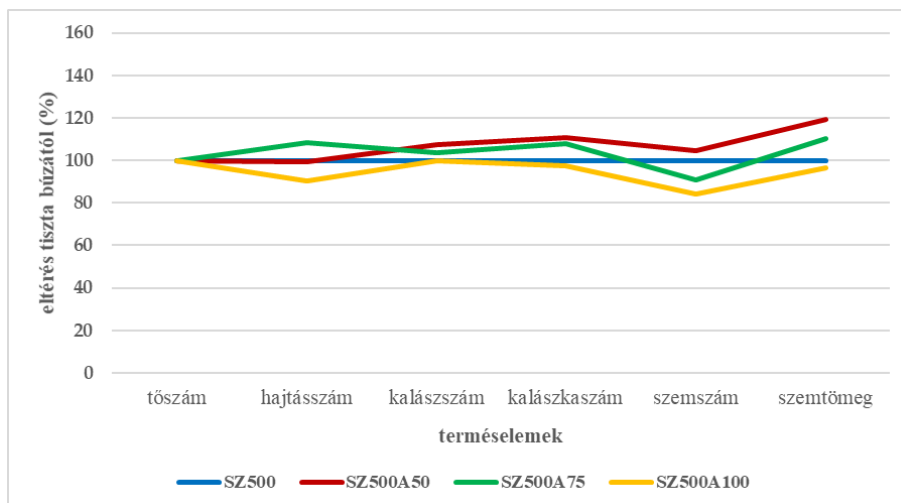
18. ábra: Fejlődésmenet ábra a GK Szilárd 250 db/m² vetéssűrűség esetén 2022-ben

2022-ben a GK Szilárd 375 db/m² vetéssűrűségéhez tartozó valamennyi borsó növénytársítás a fejlődésmenet kezdetétől magasan a kontroll értékek felett teljesített (19. ábra). A legkiemelkedőbb eredményt az Aviron 100 db/m² vetéssűrűségű keverék nyújtotta, amely a szemszám fázisban 42%-kal, a szemtömeg fejlődési szakaszában pedig 24 %-kal haladta meg a tiszta vetésű gabona terméselem értékeit. Míg a másik két társítás is 11, illetve 12 % többlettel zárt a szemtömeg fázisban a kontrollal szemben.



19. ábra: Fejlődésmenet a GK Szilárd 375 db/m²vetéssűrűség esetében 2022-ben

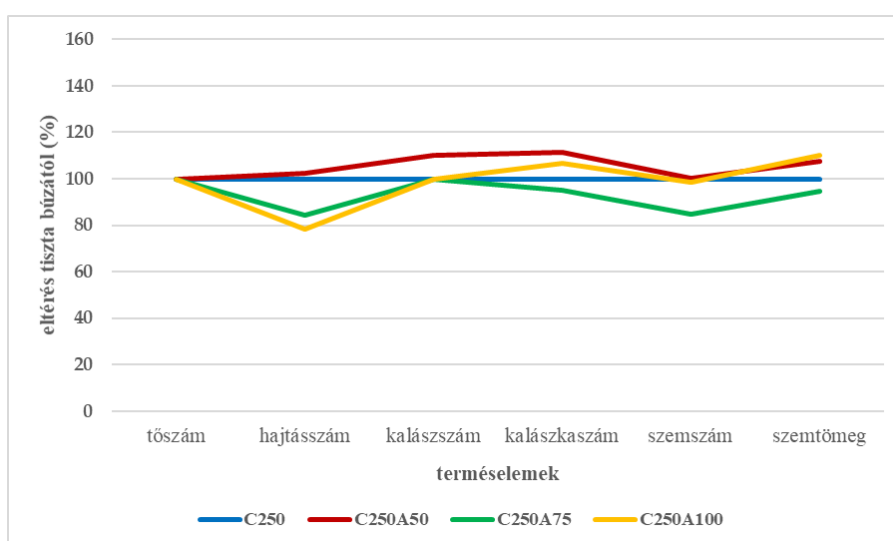
A GK Szilárd 500 db/m²vetéssűrűsége mellett a legkisebb borsó arányú keverék szinte a teljes fejlődésmenet során meghaladta a kontroll parcella szintjét, ez a többlet a szemtömeg fázisban a 19%-ot ért el . Ezzel szemben a 75 db/m² vetéssűrűségű borsó keverék esetében egy ígéretes kezdést követően a szemszám csökkenését láthatjuk, amelyhez viszont a szemtömeg tekintetében +10%-ot mutatott a tiszta vetésű parcella értékéhez képest. Végül a harmadik búza-borsó kombináció értékei ugyan a közelében jártak, de nem haladták meg a kontroll 100%-át. Az 500 db/m² vetéssűrűségű GK Szilárd fejlődésmenete Avironnal való társításban a 20. ábrán látható.



20. ábra: GK Szilárd fejlődésmenete növénytársításban a legmagasabb vetéssűrűség mellett 2022-ben

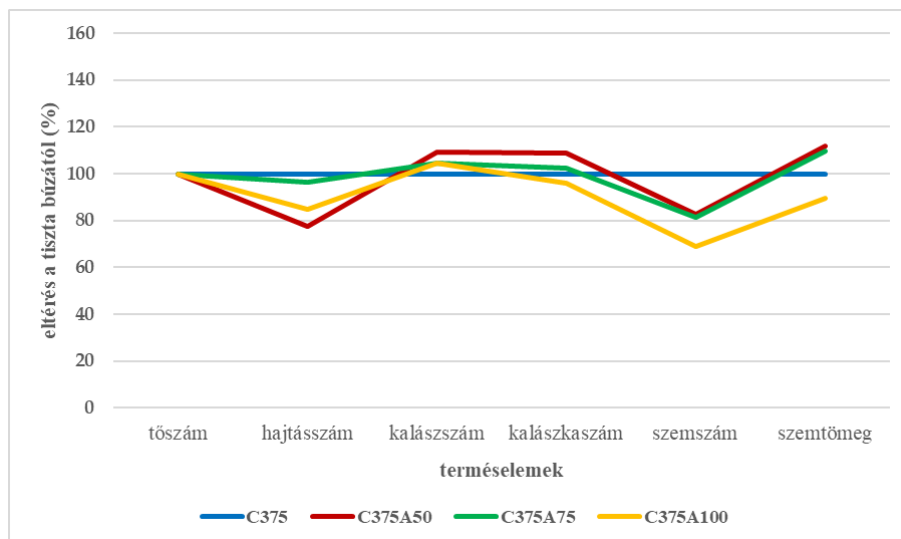
7.1.1.5. Cellule fejlődésmenete növénytársításban 2022-ben

A Cellule legkisebb vetéssűrűsége (250 db/m²) és az Aviron 75 db/m² kombinációja a kalászsorszám fázison kívül még a kontroll parcella szintjét sem érte el (21. ábra). Ellenben az Aviron 100 db/m² vetéssűrűsége szinte azonos kezdet után, pont ettől a fejlődési fázistól (kalászsorszám) pozitív irányú fejlődésmenetet mutatott. A szemtömeg szakaszban 9%-kal haladja meg a tiszta vetés értékét. A legkisebb arányú búza és borsó keverék pozitív fejlődési görbét járt be 2022-ben, míg végül a második legjobb eredményt ért el a szemtömeg szakaszban (kontroll+7%). Mindhárom társítás esetében egy töréspont figyelhető meg a szemszám fázisban.



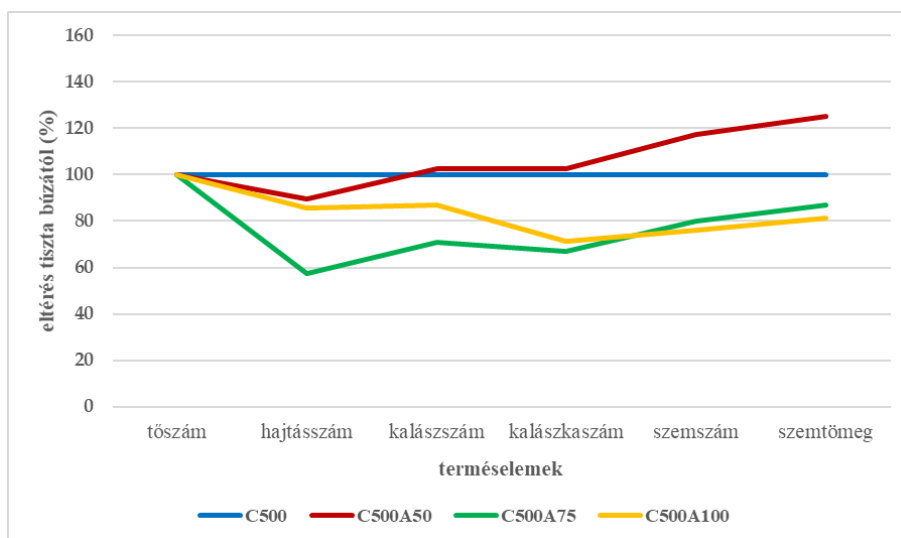
21. ábra: A Cellule társításainak fejlődési fázisai 250 db/m² esetén 2022-ben

A második kísérleti évben ennél a Cellule-Aviron kombinációnál két töréspont jött létre a fejlődésmenetben: egy a hajtásszám, egy pedig a szemszám fázisban. Ez a hullámzó fejlődési görbe jellemző volt minden Cellule 375 db/m² vetéssűrűség mellett. Szemtömeg tekintetében csupán a két kisebbik vetéssűrűségű borsó keverék haladta meg a kontroll szintet 11, illetve 9 %-kal. A 375 db/m² vetéssűrűségű Cellule fejlődésmenete Avironnal való társításban a 22. ábrán követhető nyomon.



22. ábra: A társított parcellák fejlődésmenete a Cellule 375 db/m² mellett 2022-ben

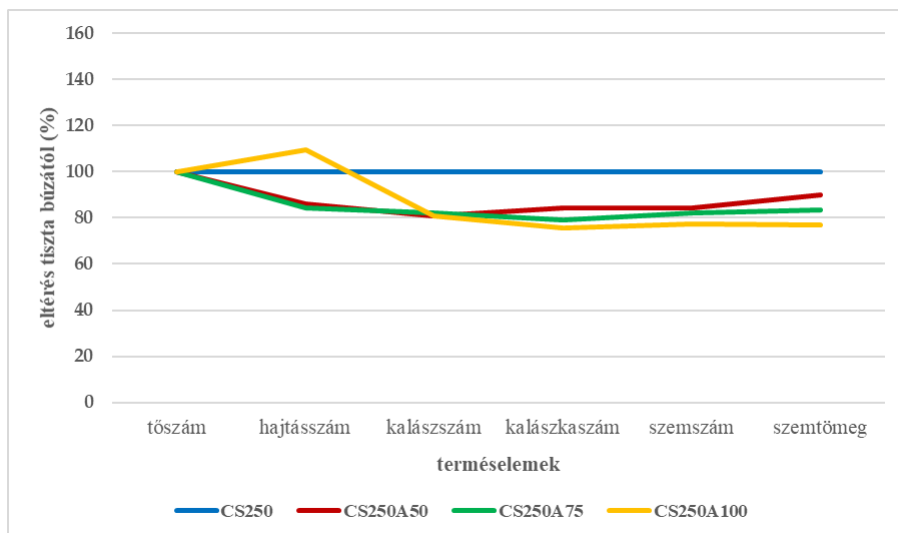
A Cellule 500 db/m² vetéssűrűsége az Aviron 75, illetve 100 db/m² vetéssűrűségével társítva egyik fejlődési fázisban sem érte el a tiszta vetésű parcella értékét (23. ábra). Ellenben a borsó legkisebb vetésaránya mellett a keverék a kalászszámtól kezdődően fokozatos pozitív irányú fejlődésmenetet mutatott, amely a szemszám fázisra 17%-kal, a szemtömeg fázisra pedig 24%-kal haladta meg a kontroll parcella szintjét.



23. ábra: Növénytársítások fejlődésmenete a Cellule 500 db/m² esetében 2022-ben

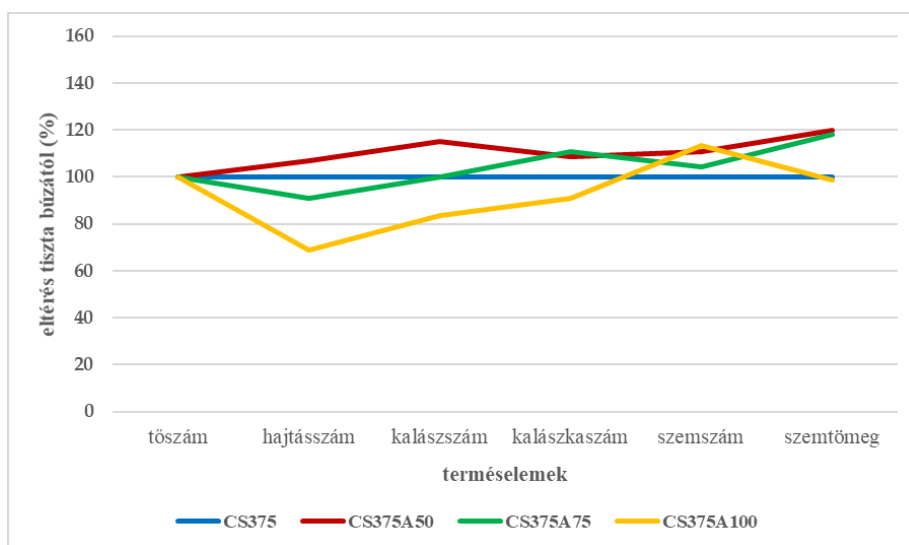
7.1.1.6. A GK Csillag fejlődésmenete növénytársításban 2022-ben

A GK Csillag esetében a legnagyobb borsó arányú keverék hajtásszám fázisban tapasztalt magas értékét leszámítva minden társítás a tiszta vetésű állomány szintje alatt teljesített. Az egyes fejlődési stádiumok értékei közel azonos veszteséget szenvedtek el a kontroll parcellához képest. A 250 db/m² vetéssűrűségű GK Csillag fejlődésmenete Avironnal való társításban a 24. ábrán látható.



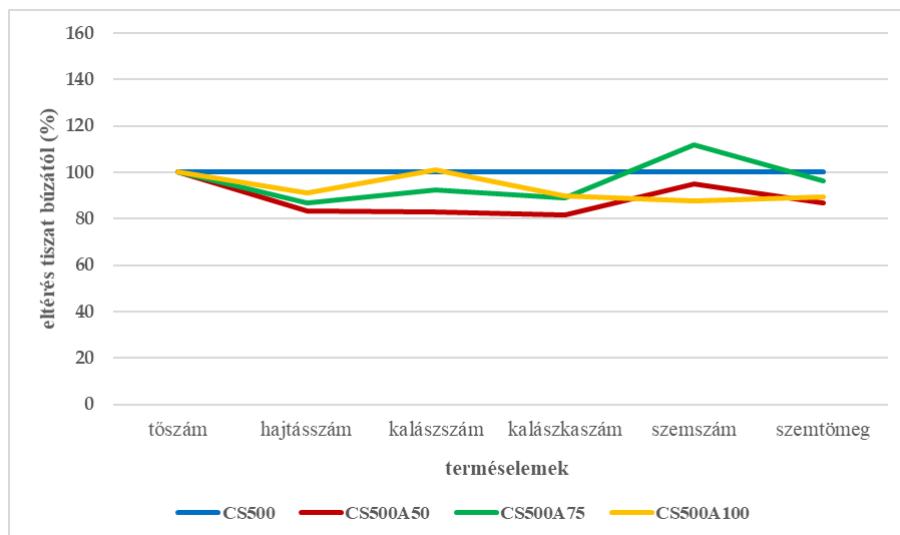
24. ábra: A GK csillag növényársításának fejlődésmentete annak legkisebb vetéssűrűsége mellett 2022-ben

A 75 db/m² és a 100 db/m² vetéssűrűségű borsó-búza keverék a kezdeti mélypontot követően (hajtásszám fázis) pozitív irányú fejlődésmentetet mutatott (25. ábra). Míg az előbbi a kalászsorszám fázisban, az utóbbi a kalászkaszámot követően haladta meg a tiszta vetés értékeit a velük megegyező fejlődési fázisokban. A legmagasabb arányú borsótársítás a szemszám stádiumban már 13%-kal haladta meg a kontroll parcella értékét, ugyanakkor a szemtömeg fázisban a kontroll szint alá esett. A harmadik és egyben legkisebb borsó arányú társítás a teljes fejlődésmentet során növekedő tendenciát állított fel, és a 75 db/m² vetéssűrűségű keverékhez hasonlóan +19, illetve +18%-kal magasabb szemtömeget érték el a tiszta vetésű parcellához képest.



25. ábra: A GK Csillag borsó keverékeinek fejlődésmentete 375 db/m² mellett 2022-ben

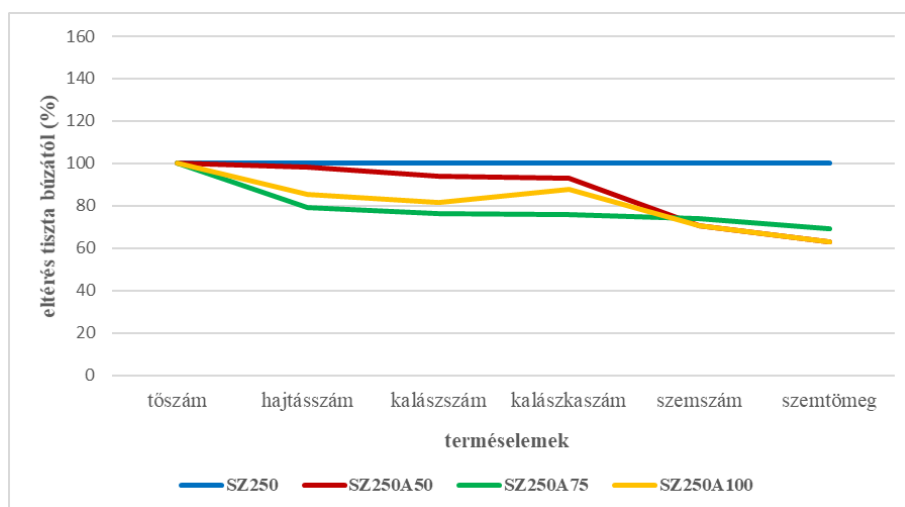
A legnagyobb Cellule arányú keverékek esetében a borsó aránytól függetlenül valamennyi társítás értékei jórészt a kontroll érték alatt maradtak (26. ábra). Ez alól két kivétel akadt: a 100 db/m² vetéssűrűségű borsókeverék a kalászsorszám fázisban (+1%), és a 75 db/m² vetéssűrűségű borsótársítás pedig a szemszám fázisban (+11%) haladta meg a tiszta vetések értékét.



26. ábra: GK Csillag növénytársításainak fejlődési fázisai a legnagyobb vetéssűrűség mellett 2022-ben

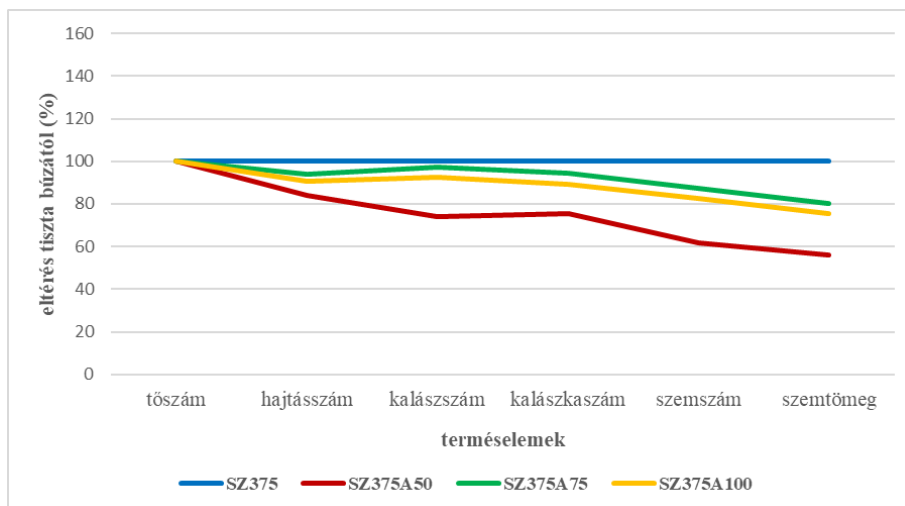
7.1.1.7. A GK Szilárd fejlődésmenete növénytársításban 2023-ban

A 27. ábrán a GK Szilárd 250 db/m² vetéssűrűségű parcellák termésselemeinek értékeit láthatjuk a három különböző vetésarányú őszi borsóval társítva a tiszta vetéshez képest. Mindegyik társítás értékei alul maradtak a kontrollhoz képest a teljes fejlődésmenten során. Míg az Aviron 75 db/m²vetéssűrűségű társítás a kezdetektől folyamatos lejtmenetet mutatott, addig a másik két kombináció a kalászkaszám fázistól kezdve csökkent jelentősebb mértékben. Végül 37, illetve 31%-kal alacsonyabb értékeken zártak a tiszta vetésű parcellák eredményeihez képest a szentőmeg fázisban.



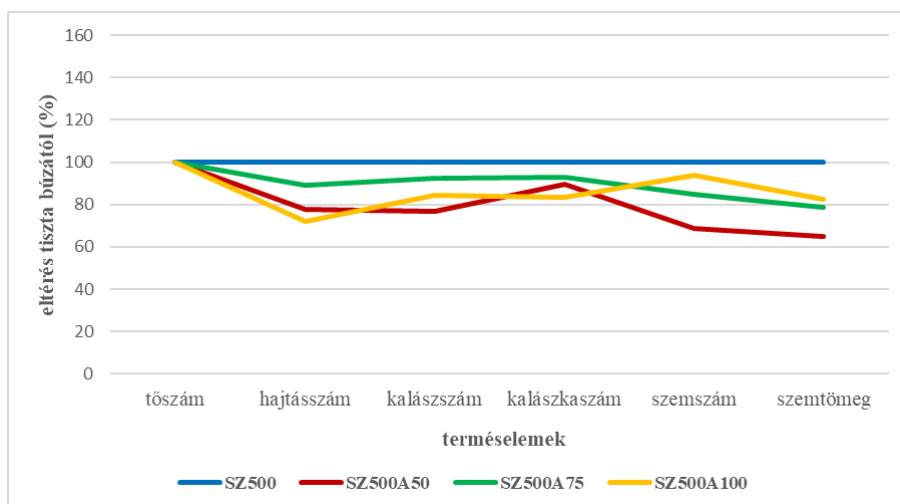
27. ábra: Növénytársítások fejlődésmenten a GK Szilárd legkisebb vetéssűrűsége mellett 2023-ban

A 375 db/m² vetésarányú parcellák esetében (28. ábra) nagyon hasonló képet láthatunk az előzőhöz képest: a fejlődésmenten a kezdetektől folyamatos lejtmenetet mutatott az összes társított parcella termésselemeinek értéke. A legmélyebb ponton az Aviron 50 db/m² esetében 44%-kal, a 75 db/m² esetében 20%-kal, illetve a 100 db/m² vetésarány mellett 25%-kal kevesebb szentőmeget mértem a tiszta vetéshez képest.



28. ábra: Fejlődési görbék az Aviron-GK Szilárd 375 db/m²vetéssűrűség mellett 2023-ban

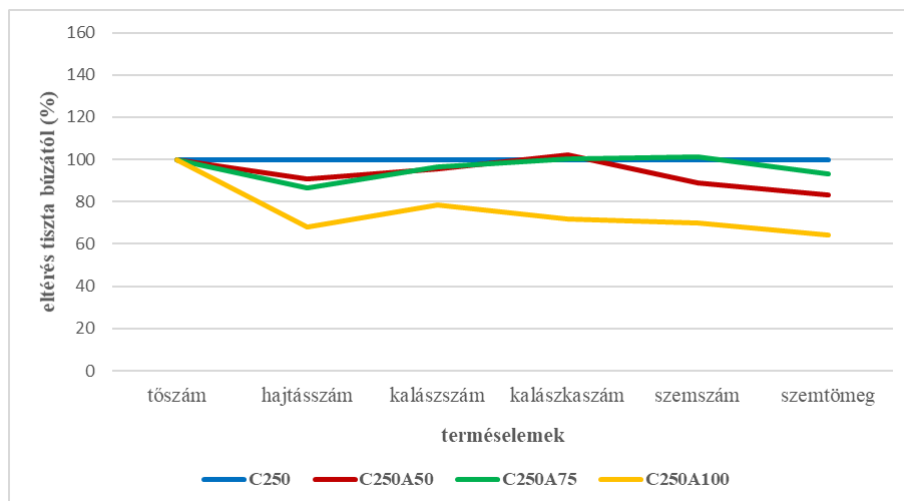
Nem változott jelentősen a fejlődésmenet iránya a GK Szilárd 500 db/m² vetéssűrűsége esetében sem (29. ábra), az összes társítás végig a tiszta parcellák értékei alatt maradt. Az egyes fejlődési fázisokat összekötő görbe lefutása azonban nem egybefüggő, az Aviron 100 db/m² vetésaránya mellett a kalászsorszám és a szemszám is emelkedő szintet mutatott, míg az 50 db/m² társítás mellett csak a kalászkaszám esetében tapasztaltam. Minden keverék esetében látható egy törésvonal a fejlődésmenetben, a hajtásszám fázisban.



29. ábra: Fejlődésmenet a GK Szilárd 500 db/m² vetéssűrűsége esetében 2023-ban

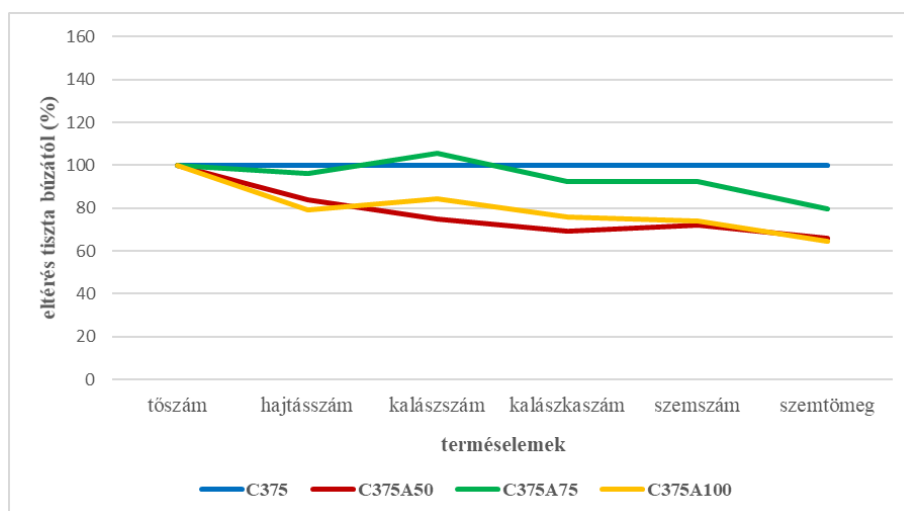
7.1.1.8. A Cellule fejlődésmenete növénytársításban 2023-ban

A Cellule őszi búzafajta esetében (30. ábra) egy árnyalattal jobb képet kaptam a GK Szilárd eredményeihez képest. A két kisebb vetéssűrűség mellett volt olyan fejlődési fázis, amikor a társított parcellák értékei megközelítették a kontroll parcella értékeit. A 250 db/m²vetésarány mellett ezt láthatjuk az Aviron 50 db/m² kombinációjával a kalászkaszám esetében és a 75 db/m² társításban a szemszám esetében (mindkettőnél +1% többlet). Valamennyi kevert parcellánál egy törésvonal figyelhető meg a hajtásszám esetében, majd ezt követően a legnagyobb borsó arány kivételével emelkedő tendencia mutatkozott a fejlődésmenet irányában.



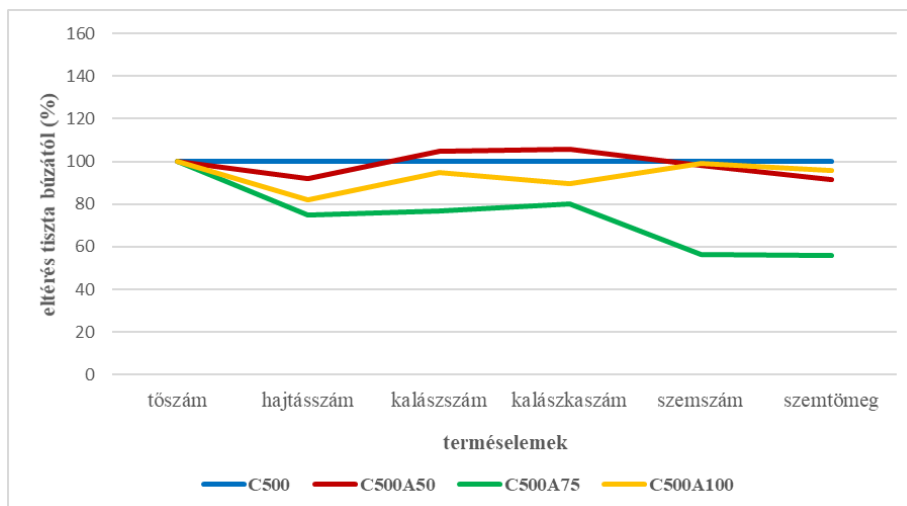
30. ábra: A Cellule-Avion keverékek fejlődésmentei a búza legkisebb vetéssűrűsége mellett 2023-ban

A következő ábrán a Cellule 375 db/m² vetéssűrűségű parcellák fejlődésmentét követhetjük nyomon (31. ábra). Ennél a növénytársításnál már láthatunk arra példát, hogy az Avion 75 db/m²vetésarányában keverve a kalászsorszám meghaladja a tiszta vetésű parcella értékeit (+5%), ugyanakkor az ezt követő fejlődési stádiumban újra a kontroll szint alá esnek az értékek. Ezt tapasztaltam ennél a keveréknél is, ahol a szemtömeg fázisban már 21%-kal kevesebb értéket vett fel a kontroll értékhez képest. A másik két társítás még ennél is alacsonyabb szintet mutatott a fejlődésment teljes ideje alatt.



31. ábra: Társított parcellák fejlődési fázisai a Cellule 375 db/m² esetén 2023-ban

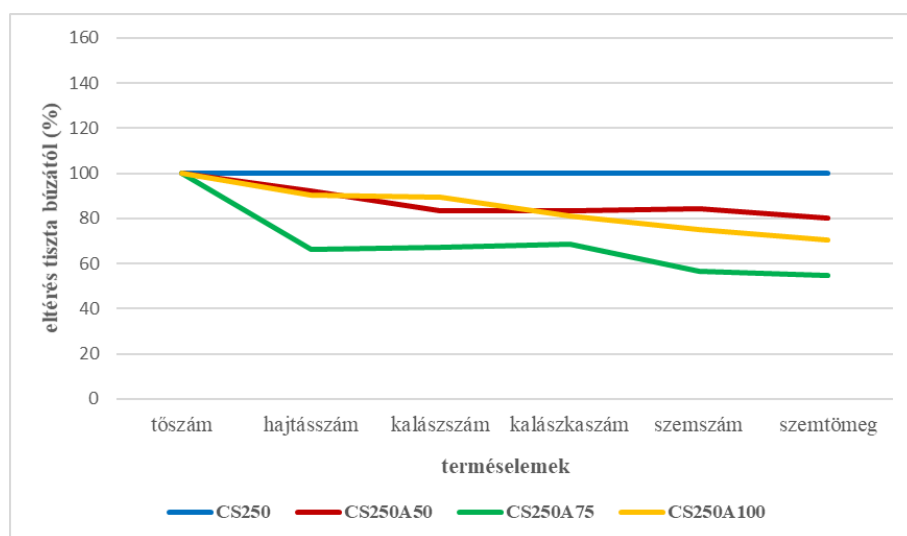
A Cellule legmagasabb vetéssűrűsége (500 db/m²) a legkisebb borsó vetéssűrűséggel társítva (50 db/m²) a kalászsorszám és a kalászkaszám fázisban 4, illetve 5%-kal haladta meg a tiszta vetésű parcellák értékeit. Majd a szemszám és a szemtömeg fázisban alig csökkent a kontroll szint alá (2 és 9%). A Cellule növénytársításai közül itt is megfigyelhető a borsó aránytól függetlenül a fejlődésmentben egy erős törés a hajtásszám fázisban. Ezt követően a borsó legmagasabb vetéssűrűségű keveréke a kalászsorszám és szemszám stádiumban közelíti meg a kontroll szintjét (mindössze 6 és 1%-kal kisebb), míg a 75 db/m²vetéssűrűségű kombináció a kalászkaszámot kivéve (-20% a kontrollhoz képest) erősen negatív fejlődésmenttel zár a szemtömeg fázisban (-44% a kontrollhoz képest). Ezeket a fejlődési fázisokat a 32. ábrán mutatom be.



32. ábra: Cellule 500 db/m² vetéssűrűségű keverékek fejlődésmentete borsóval 2023-ban

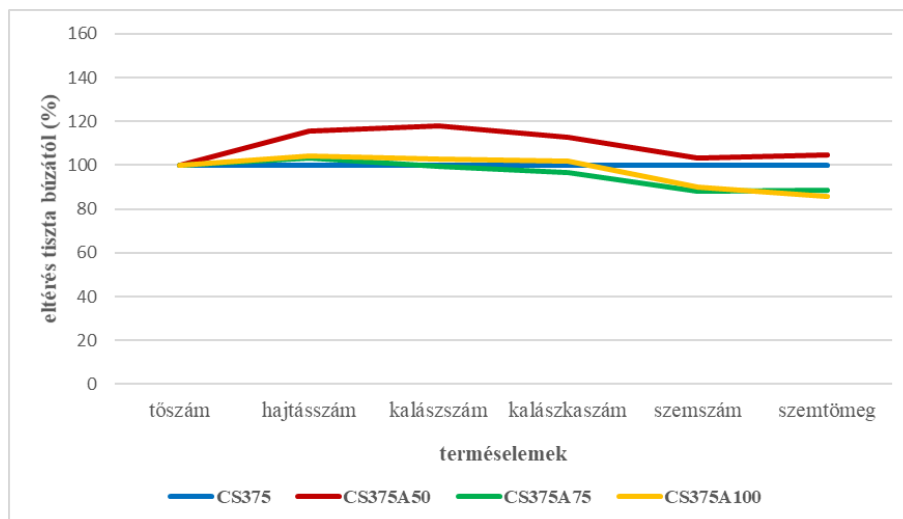
7.1.1.9. A GK Csillag fejlődésmentete növénytársításban 2023-ban

A legkisebb vetéssűrűség mellett (33. ábra) szinte ugyanazt a jelenséget láthattuk, mint a másik két búzafajta esetében. Mindegyik társított parcella fejlődésmentete negatív irányú volt, és mélyen a tiszta vetés szintje alatt teljesített. Míg az Aviron 50 db/m² vetéssűrűségű társítása közel 20%-kal volt kisebb a kontrollnál, addig a 75 db/m² kombinációban már a szemszer és szentőmeg fázisra ez a hiány 44, illetve 46%-ra nőtt.



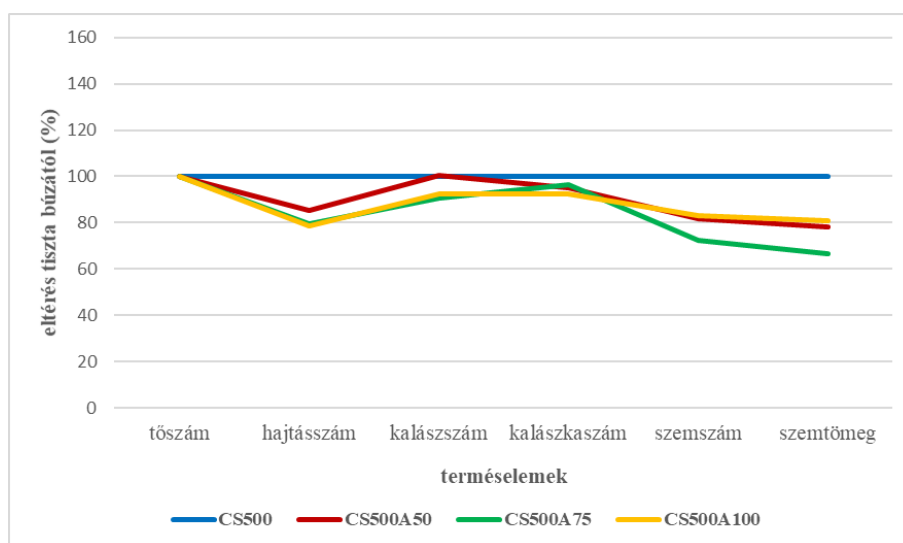
33. ábra: GK Csillag növénytársításainak fejlődésmentete a legkisebb búza vetéssűrűség mellett 2023-ban

A 34. ábrán a GK Csillag 75 db/m²vetéssűrűségű növénytársításainak fejlődésmentetét követhetjük nyomon a tiszta vetéshez képest. A kumulatív terméslemezés egyetlen pozitív fejlődésmentete 2023-ban az Aviron 50 db/m²vetéssűrűségű kombinációjával jött létre. A legmagasabb pontján 18%-kal haladta meg a kontroll értékét a kalászszer fázisban, de a szentőmeg fázisra is +4%-on zárt. Ugyanez nem mondható el a másik két borsó vetéssűrűség esetében, ahol mindkét társítás fejlődésmentete szinte átfedte egymást. A legnagyobb borsó arányú kombináció a kalászkaszot követően csökkent a tiszta vetésű parcellák értéke alá, míg a harmadik, 75 db/m² vetéssűrűségű keverék már a kalászszer stádiumban a kontroll szint alá esett.



34. ábra: A GK Csillag borsó keverékeinek fejlődésmenete 375 db/m² esetén 2023-ban

A 35. ábrán a GK Csillag növénytársításának fejlődésmenetét láthatjuk a legmagasabb vetéssűrűség mellett (500 db/m²). Mindhárom őszi búza fajtánál egy törésvonal figyelhető meg a hajtásszám fázisban. Ezt követően a legkisebb borsó arányú társítás a kalászsorszám fázisban éppen hogy csak eléri a kontroll szintjét, míg a másik két keverék a kalászsorszám és kalászkaszám fejlődési stádiumban csupán a közelében jár a tiszta vetés értékeinek. Végül a szemszám és szentőmeg szakaszban erős csökkenő tendencia alakult ki valamennyi társítás esetében.



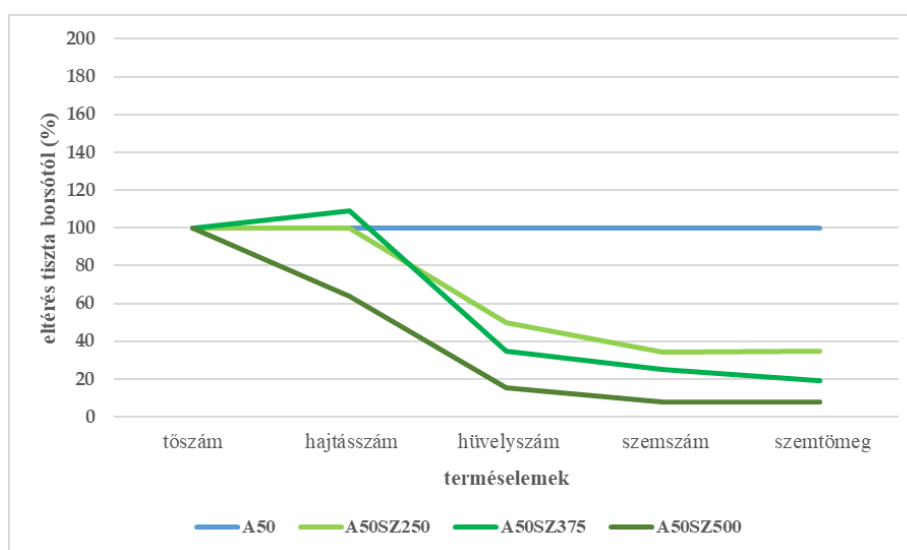
35. ábra: GK Csillag növénytársításainak fejlődésmenete a legmagasabb vetéssűrűség mellett 2023-ban

7.1.2. Az őszi borsó Sváb-féle kumulatív terméselemzése

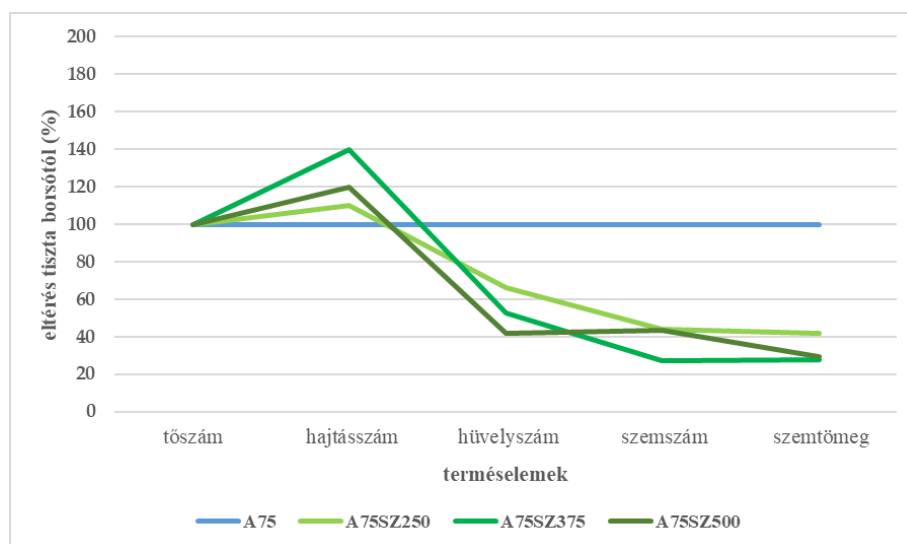
Az őszi borsót illetően minden társítás negatív irányú fejlődésmenetet mutatott, amely vagy már a kezdetektől, vagy pedig a hajtásszám fázistól fogva valósult meg. Az egyes fejlődési fázisok értékei innentől kezdve töredékei voltak az önálló vetésben mért értékeknek. Ennek kialakulásában több mint valószínű, hogy meghatározó szerepe volt a búza dominanciájának. Következésképp a kontrollhoz képest a borsónak növénytársításban kevésbé volt lehetősége a terméselemek kinevelésére. A különböző vetéssűrűségek alapján kialakított búza és borsó keverékek között olyan csekély eltérés volt, hogy a továbbiakban az egyes búzafajtánként való bontásban értékelem az eredményeket. A 100%-ot a borsó tekintetében is a tiszta vetés képviselte (kék vonal), az y tengely értékei pedig az ettől való eltérést mutatják százalékos értékben (zöld megfelelő árnyalatai a vetéssűrűségtől függően).

7.1.2.1. Aviron fejlődésmenete a GK Szilárd keverékben 2021-ben

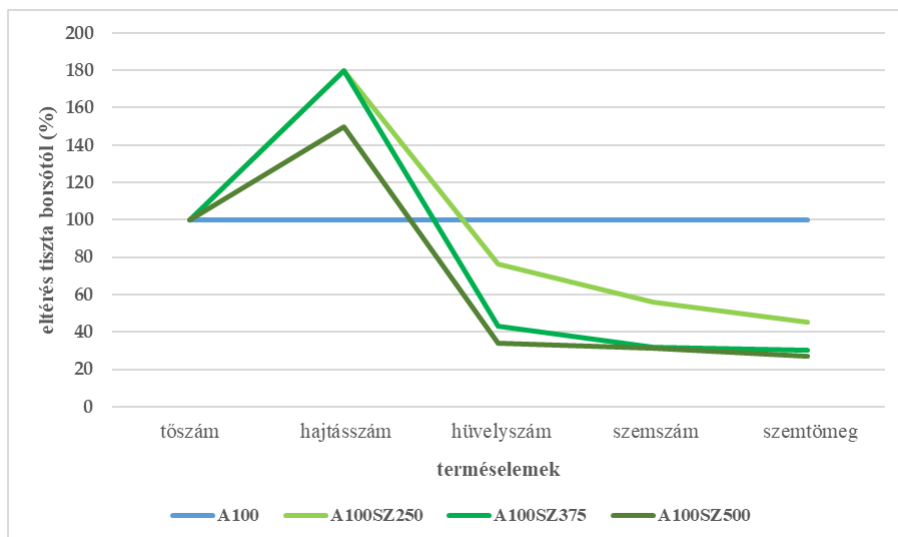
Ha csak a GK Szilárd búzafajtaival való társítást vizsgáljuk, a borsó szempontjából a legkevésbé ideális társítás az 50 db/m² vetéssűrűség mellett jött létre. A két kisebb búza arány mellett a hajtásszám fázisban még a kontroll szinttel megegyező, illetve azt meghaladó (+9%) terméselemket mértem, jelentős termésem csökkenés a hüvelyszám fázisban jelentkezett. Az legmagasabb búza arány (500 db/m²) esetén a borsó fejlődése a kezdettől fogva csökkenő tendenciát mutatott (51. ábra). Ahogy növeltem a borsó arányát a keverékekben, úgy nőtt a hajtásszám értéke. Míg a borsó 75 db/m² vetéssűrűsége mellett a búza arány növelésével a hajtásszámban +10%, +40%, illetve +20% többlet valósult meg, a legmagasabb borsó arány +80%-kal több hajtást hozott a kontrollhoz képest, a két társnövény maximuma mellett is +50%-kal több hajtást számoltam. Tehát a termésemek csökkenése egyértelműen a generatív szakaszra volt jellemző. Ezt a jelenséget láthatjuk az 36-38. ábrán.



36. ábra: Őszi borsó fejlődésmenete 50 db/m² vetéssűrűség mellett GK Szilárd társításban 2021-ben



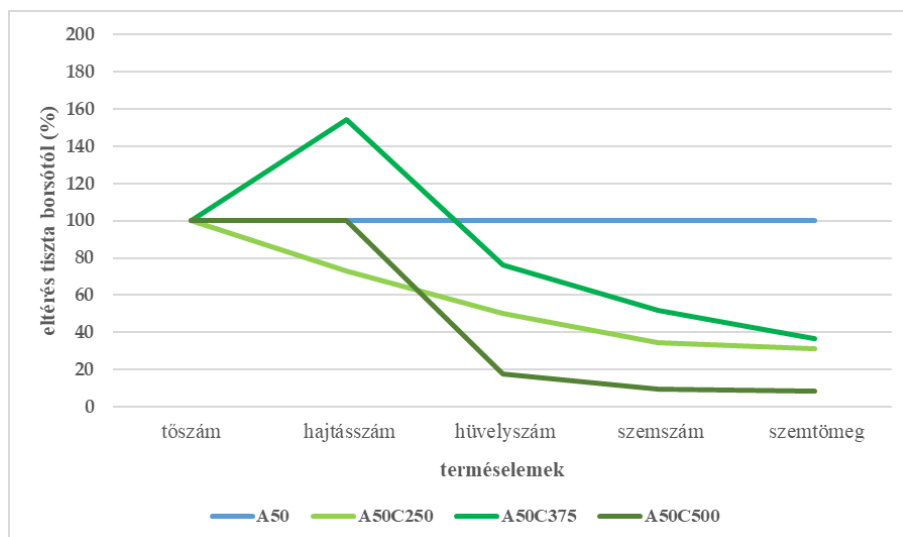
37. ábra: Aviron fejlődési görbéi 75 db/m² esetén GK Szilárd társításban 2021-ben



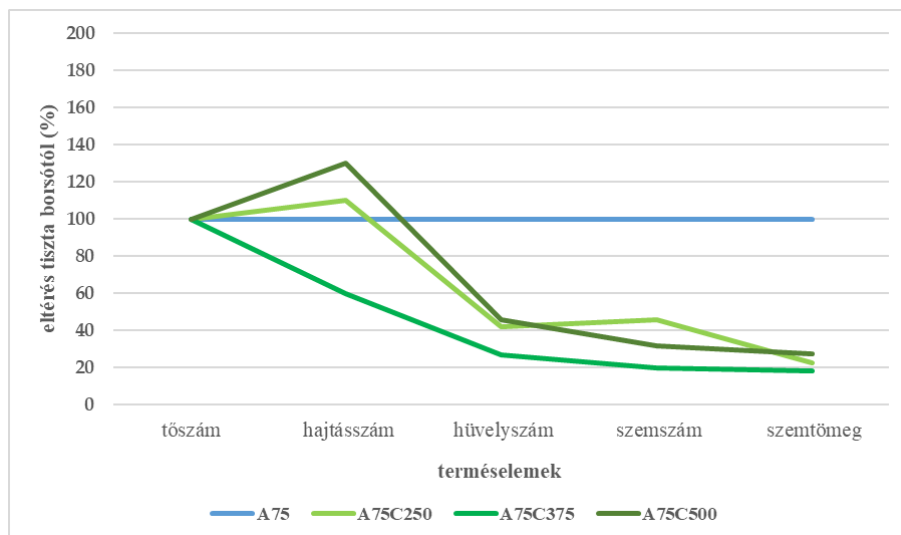
38. ábra: Az Aviron fejlődési stádiumai a legmagasabb vetéssűrűsége esetén GK Szilárd mellett 2021-ben

7.1.2.2. Aviron fejlődésmenete a Cellule keverékben 2021-ben

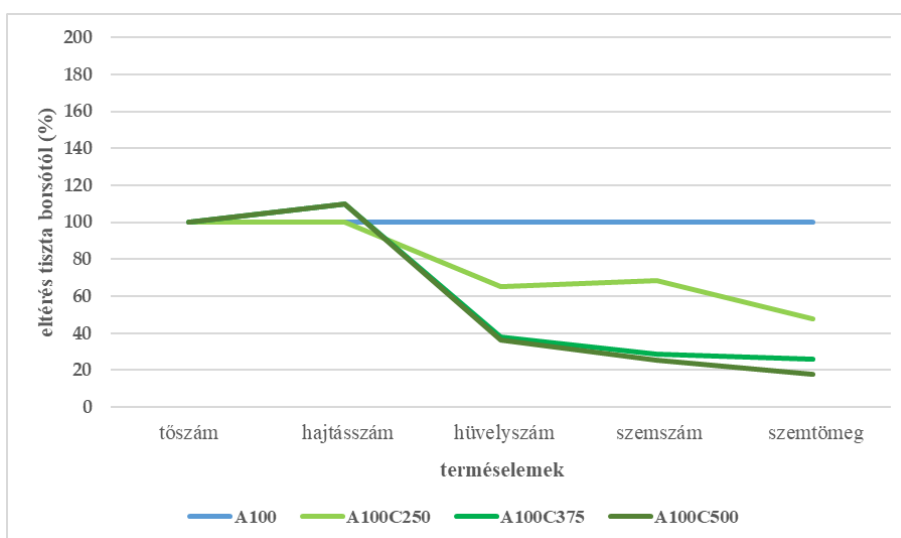
A Cellule őszi búzafajta esetében ugyanazt a jelenséget láthatjuk, ami már a GK Szilárdnál is megfigyelhető volt: a borsó hajtásszám fázisban esetenként magasabb értékek voltak jellemzők, mint a tiszta vetésben, amit változó arányú csökkenés követett a további fejlődési szakaszokban. Az Aviron legmagasabb hajtásszáma annak 50 db/m^2 és a Cellule 375 db/m^2 vetéssűrűség mellett valósult meg (+54% a kontrollhoz képest). Az Aviron 75 db/m^2 és a Cellule 500 db/m^2 keverék 30% hajtástöbbletet, míg az Aviron legmagasabb vetéssűrűsége és a Cellule $375, 500 \text{ db/m}^2$ vetéssűrűsége fej-fej mellett +10%-kal több hajtást eredményezett. A legmagasabb hajtásszámot a legkisebb borsó vetéssűrűség mellett mértem, tehát a borsó a Cellule mellett sokkal kevésbé viselte el a túlsűrítést, mint a GK Szilárd. Az Aviron fejlődésmenetét a Cellule keverékével az 39-41. ábrán mutatom be.



39. ábra: Aviron fejlődésmenete 50 db/m^2 vetéssűrűsége esetén Celulle társításban 2021-ben



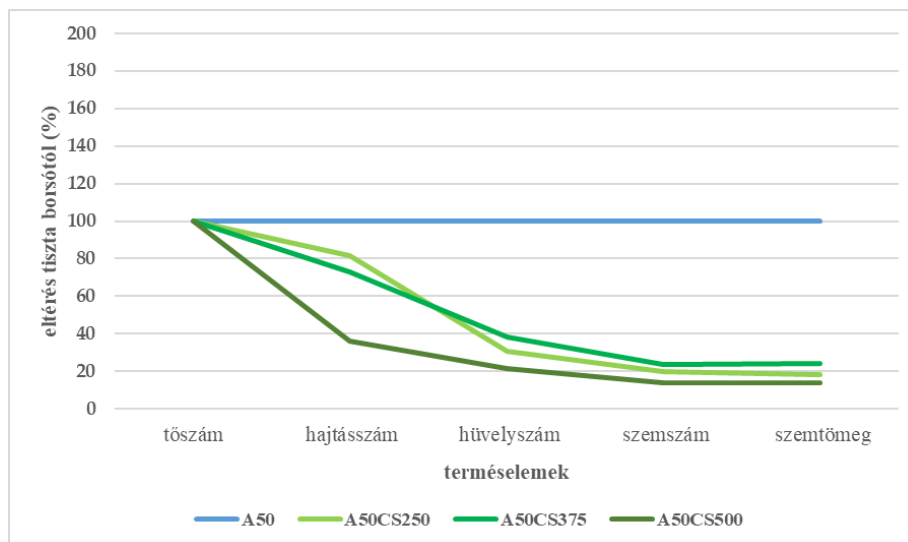
40. ábra: Aviron fejlődésmenete 75 db/m² vetéssűrűsége esetén Celulle társításban 2021-ben



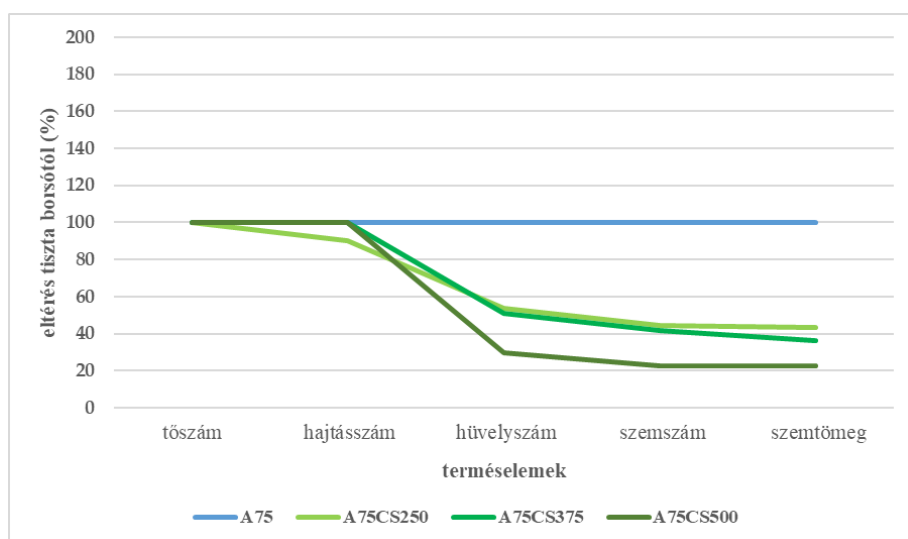
41. ábra: Aviron fejlődésmenete 100 db/m² vetéssűrűsége esetén Celulle társításban 2021-ben

7.1.2.3. Aviron fejlődésmenete a GK Csillag keverékben 2021-ben

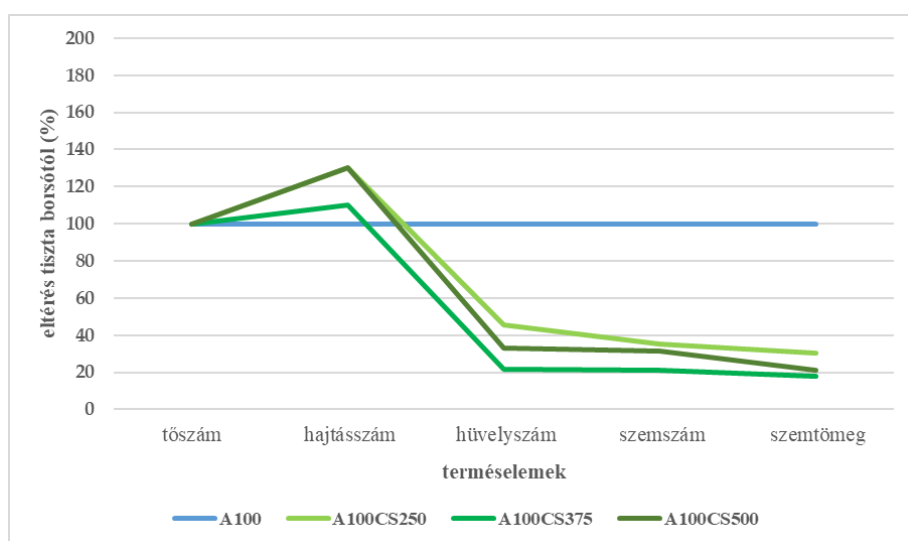
A borsó fejlődésmenete a GK Csillag mellett is negatív fejlődési irányt mutatott az előző két búzafajtaéhoz hasonlóan, ami arra enged következtetni, hogy ez a jelenség függetlenül a fajtától jelentkezik, mégpedig a borsó generatív szakaszában képződő terméselemeket illetően. Az Aviron 75 db/m² vetéssűrűsége mellett a hajtásszám a kontroll értékével megegyező szintet mutatott a GK Csillag 375 és 500 db/m² vetéssűrűsége esetén. A legmagasabb borsó hajtásszám pedig az Aviron 100 db/m² és a GK Csillag 250, illetve 500 db/m² keveréke esetén valósult meg (+30% többlet a kontrollhoz képest). Tehát az őszi borsó a hajtásszám szakaszban a GK Csillaggal való társításban is elviselte a magas egyedszámot. Az Aviron fejlődési fázisait és annak értékeit a GK Csillag társításával az 42-44. ábrán láthatjuk.



42. ábra: Az Aviron fejlődésmenete 50 db/m² mellett GK Csillaggal való társításban 2021-ben



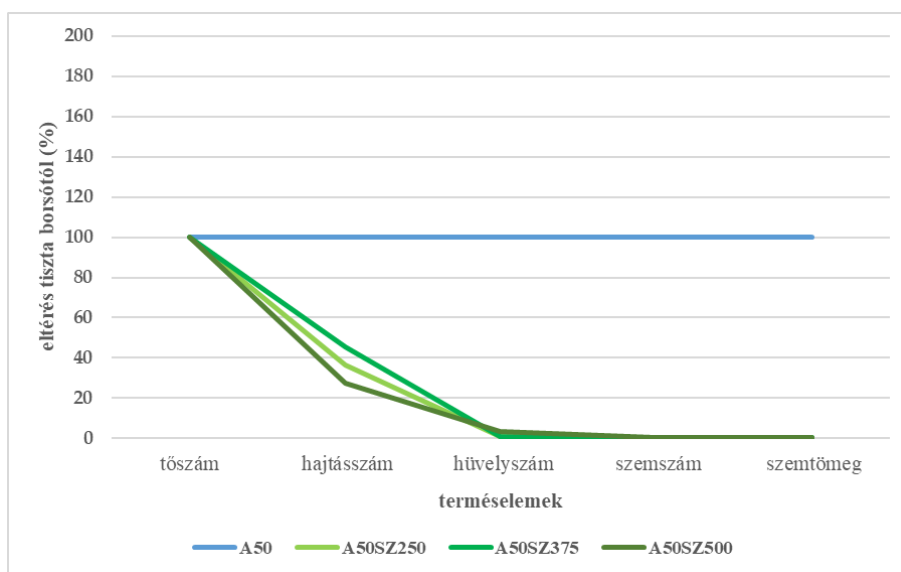
43. ábra: Az Aviron fejlődési görbéi 75 db/m² vetéssűrűség mellett a GK Csillag keverékben 2021-ben



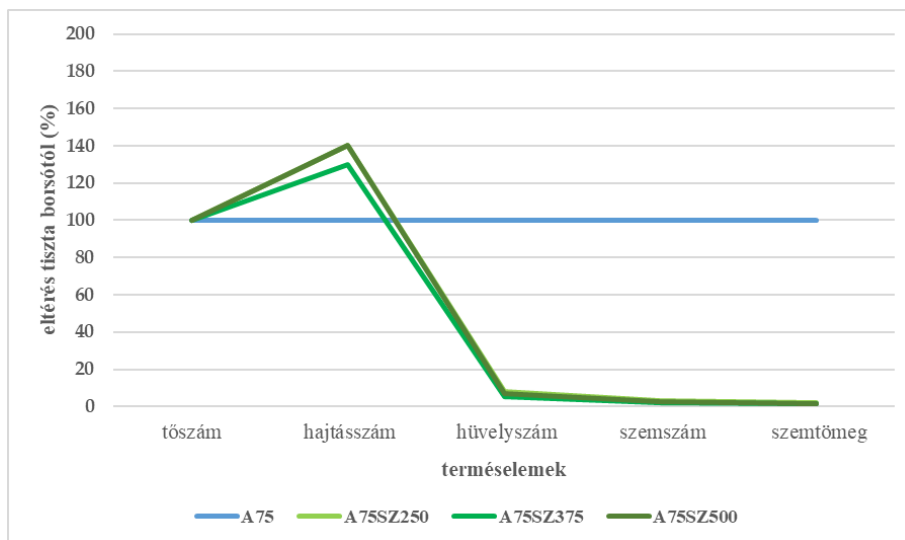
44. ábra: Az Aviron fejlődési fázisai a legmagasabb vetéssűrűség esetén GK Csillag keverékben 2021-ben

7.1.2.4. Aviron fejlődésmenete a GK Szilárd keverékben 2022-ben

A 2022-es évben a borsó számára legkevésbé ideális társításnak továbbra is az 50 db/m² vetéssűrűségű keverék bizonyult. Az előző évvel ellentétben viszont a fejlődésmenet a kezdetektől fogva folyamatos lejtmenetet mutatott kivétel nélkül az összes keverék részéről (60. ábra). A borsó arány növelésével a hajtásszám fázisban ugyan magasabb értékeket mértem a kontrollhoz képest, de ez az előny a további fejlődési stádiumokban nem maradt fenn. Az Aviron 75 db/m² vetéssűrűség mellett 40%, 30%, és újra 40% hajtásszám többlet jelentkezett, vagyis ebben a fejlődési stádiumban sokkal bokrosabb állomány jött létre az előző évhez képest. Ezenfelül a legmagasabb hajtásszámot itt is az Aviron 100 db/m² vetéssűrűsége adta: a GK Szilárd 250 db/m² vetéssűrűség mellett +20%, míg a 375 db/m² vetéssűrűség esetén +60% hajtás többlet mutatkozott a tiszta vetéshez képest. A fejlődésmenet generatív szakaszához tartozó terméselemek tekintetében ezt követően erős hanyatlás volt látható. A 2022-es év eredményeit az Aviron-GK Szilárd társításra vonatkozóan a 45-47. ábra mutatja be.



45. ábra: Aviron-GK Szilárd fejlődésmenete a borsó 50 db/m²vetéssűrűsége mellett 2022-ben



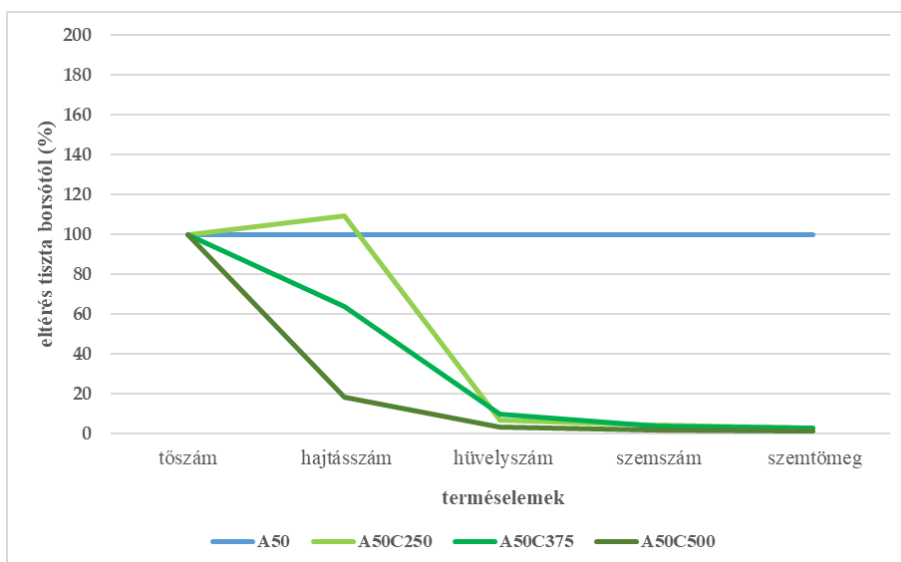
46. ábra: Aviron-GK Szilárd fejlődésmenete a borsó 75 db/m²vetéssűrűsége mellett 2022-ben



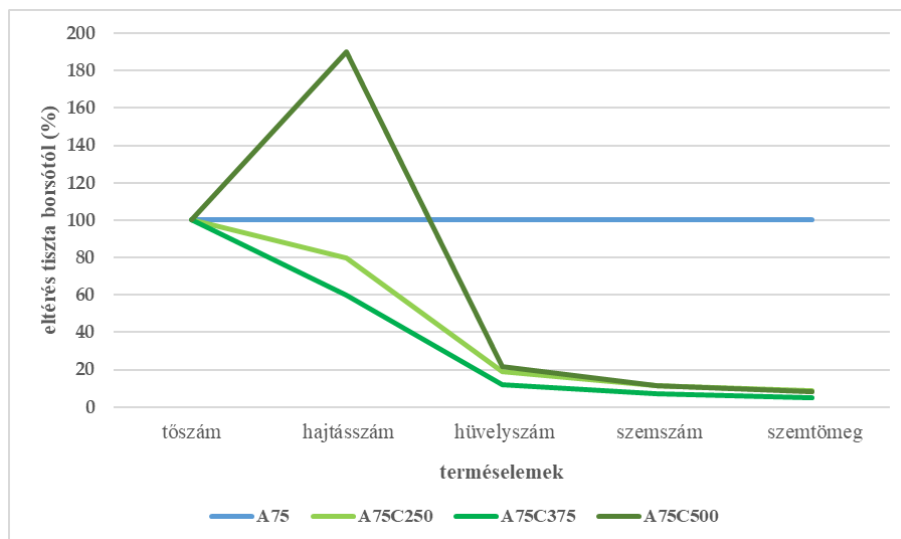
47. ábra: Aviron-GK Szilárd fejlődésmenete a borsó 100 db/m²vetéssűrűsége mellett 2022-ben

7.1.2.5. Aviron fejlődésmenete a Cellule keverékben 2022-ben

Az Aviron-Cellule társítás esetében a legmagasabb hajtásszám értéket az előző évben a borsó legkisebb vetéssűrűsége mellett kaptam. 2022-ben viszont csak az Aviron 50 db/m² és a Cellule 250 db/m² vetéssűrűségű keveréke mutatott némi hajtástöbbletet (+9%) a kontrollhoz képest (63. ábra). A Cellule fajta esetében is teljesült az az állítás, hogy a borsó arány növelésével a keveréken belül a hajtásszám is emelkedik. A legtöbb hajtás az Aviron 75 db/m² és a Cellule 500 db/m² vetéssűrűsége esetében valósult meg (+90% a kontrollhoz képest). Míg a borsó legmagasabb vetésaránya mellett +40%, +50%, illetve +20% plussz hajtást produkált a tiszta vetésű borsóhoz képest. Minden többi fejlődési fázisban az értékek mélyen a kontroll szint alatt maradtak. Ezeket az eredményeket a 48-50. ábrán követhetjük.



48. ábra: Aviron-Cellule fejlődésmenete a borsó 50 db/m²vetéssűrűsége mellett 2022-ben



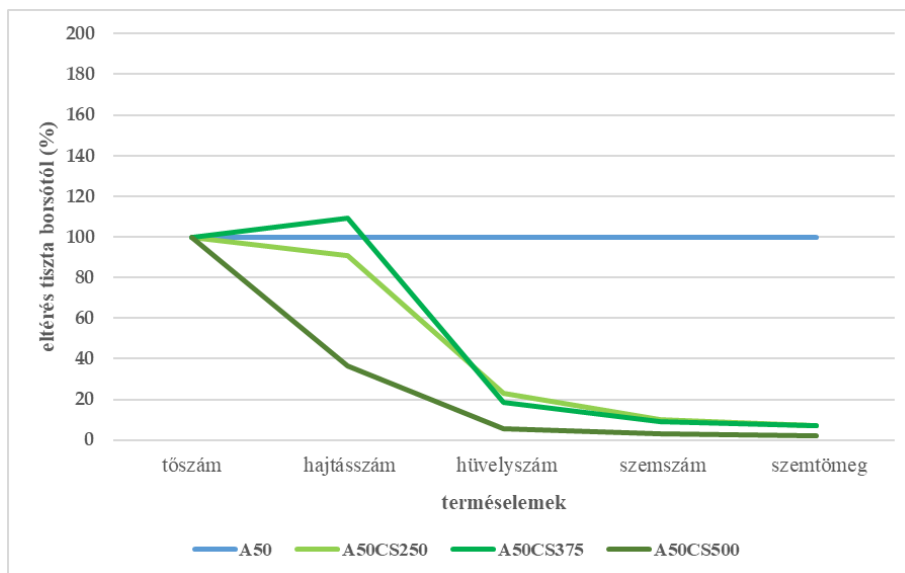
49. ábra: Aviron-Cellule fejlődésmenete a borsó 75 db/m²vetéssűrűsége mellett 2022-ben



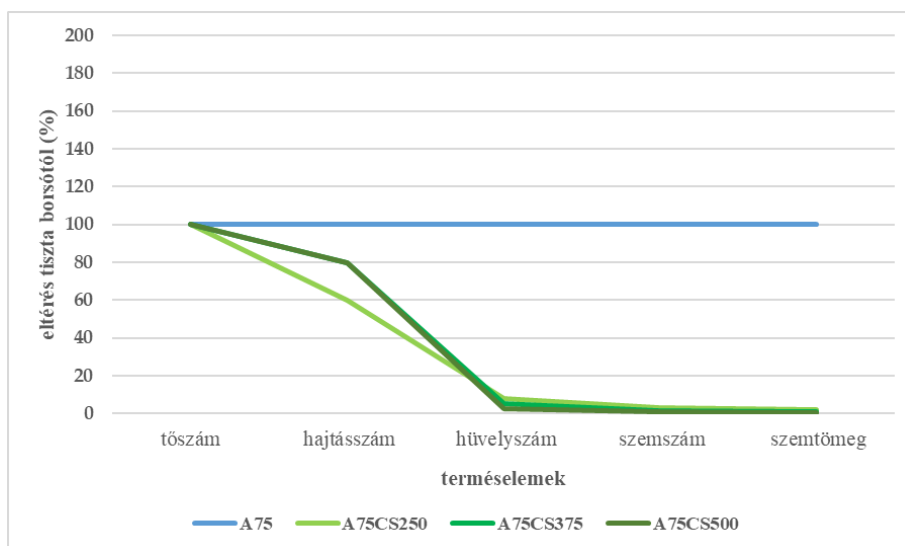
50. ábra: Aviron-Cellule fejlődésmenete a borsó 100 db/m²vetéssűrűsége mellett 2022-ben

7.1.2.6. Aviron fejlődésmenete a GK Csillag keverékben 2022-ben

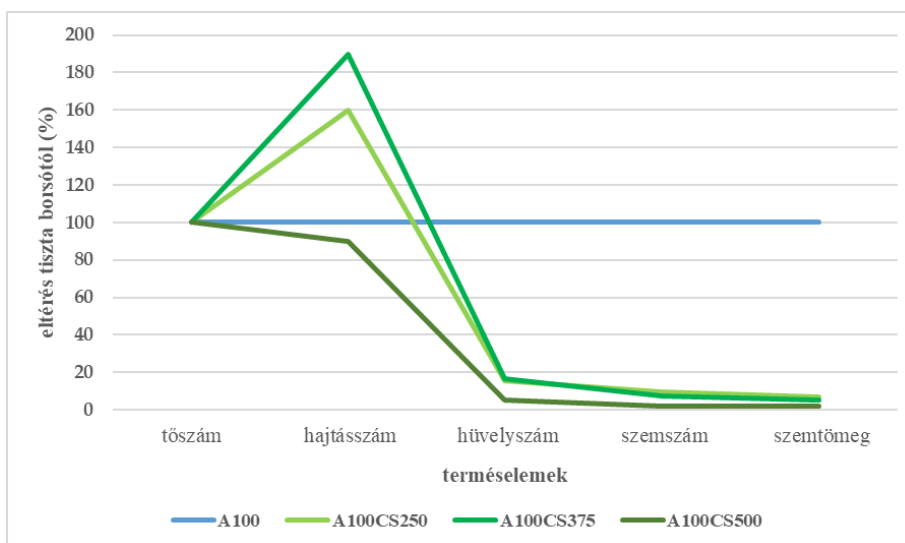
Az Aviron fejlődésmenete a GK Csillaggal való társításban sem mutatott más képet, mint ahogyan azt a többi búzafajta esetében tapasztaltam. Míg a hajtásszám fázisban volt olyan keverék, amely felülmúlta a kontroll parcella értékét, azt ezt követő terméselemek erős csökkenést mutattak a generatív szakaszban. A 2021-es évben a két magasabb borsó vetésarány mellett a hajtásszám tekintetében a tiszta vetés értékeivel megegyező, vagy azt kisebb mértékben meghaladó eredményeket kaptam. Ehhez képest 2022-ben már az Aviron 50 db/m² és a GK Csillag 375 db/m² vetéssűrűsége mellett is terméstöbblet jelentkezett (+9% a kontrollhoz képest). A legmagasabb hajtásszámot azonban a legmagasabb borsó arány mellett figyelhettem meg a GK Csillag 250 db/m² vetéssűrűsége (kontroll+60%), és a 375 db/m² vetéssűrűsége (kontroll+90%) mellett. Ezek alapján úgy tűnik, hogy az Aviron a GK Csillag mellett is elviseli a nagyobb egyedsűrűséget, hiszen jóval magasabb hajtásszámot ért el nagyobb vetéssűrűség esetén. A búza dominanciájából fakadóan viszont a borsó versenyképessége lecsökkent a generatív szakaszra, így ezek a terméselemek alacsony szinten maradtak (51-53. ábra).



51. ábra: Aviron-GK Csillag fejlődésmenete a borsó 50 db/m²vetéssűrűsége mellett 2022-ben



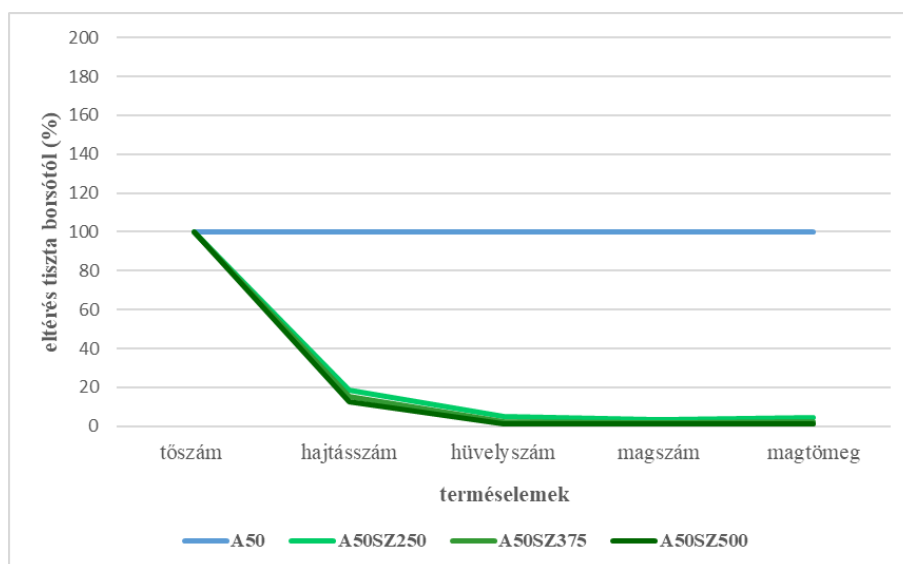
52. ábra: Aviron-GK Csillag fejlődésmenete a borsó 75 db/m²vetéssűrűsége mellett 2022-ben



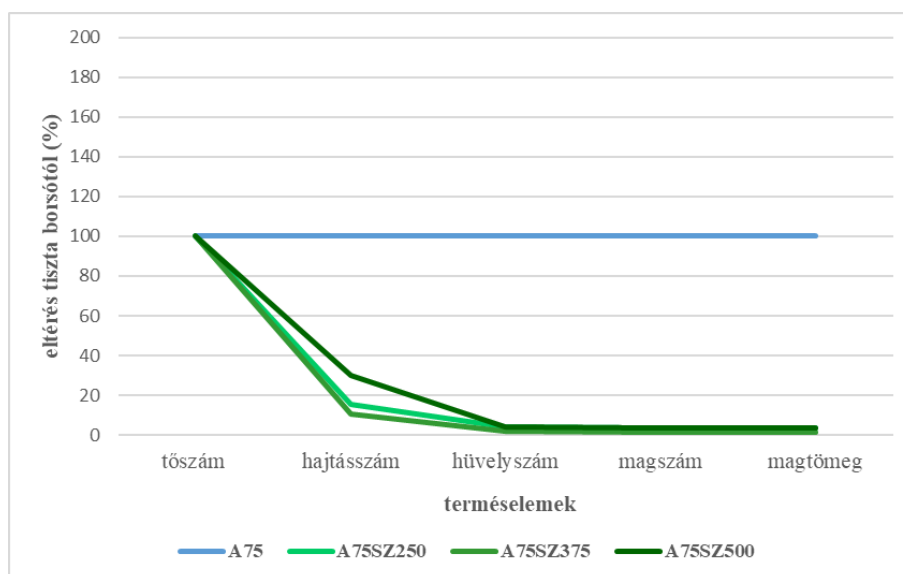
53. ábra: Aviron-GK Csillag fejlődésmenete a borsó 100 db/m²vetéssűrűsége mellett 2022-ben

7.1.2.7. Aviron fejlődésmenete a GK Szilárd keverékben 2023-ban

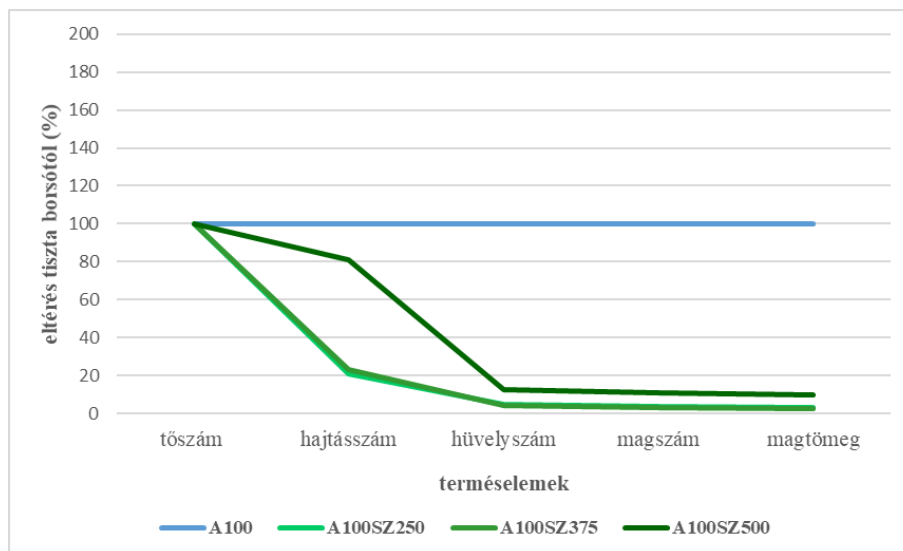
Az utolsó kísérleti év eredményei annyiban tértek el az előzőektől, hogy a fejlődésmenet teljes egésze negatív lefutású volt, és az egyes fejlődési fázisokban mért értékek jelentősen a kontroll parcella szintje alatt maradtak. A tiszta borsóvetésben az évjárattól függetlenül a több elágazás, több hajtás kinevelése volt jellemző, a társításhoz képest alacsonyabb növénytűrűség és kedvezőbb fényellátottság a többi terméselemet tekintve is magasabb értékeket eredményezett. Ezzel szemben az őszi búza-őszi borsó növénytársításban az elágazások száma csekély volt, és a kinevelt hajtásszám is alacsony szinten maradt. Az előző években a magas tőszám közel azonos számú hajtásszámot vont maga után. Így a kontroll és a társított parcellák értékei között relatíve nem volt olyan nagy eltérés. Ellenben a harmadik kísérleti évben a társításban a borsó tőszám rendkívül alacsony volt, így a tiszta vetéssel való összehasonlításban a Sváb féle kumulatív terméselemzés sem mutathatott mást, mint egy erősen negatív fejlődési görbét. Az Aviron-GK Szilárd kombináció fejlődésmenete is minden vetéssűrűség mellett ennek megfelelően alakult. Egyedül a búza és borsó maximális egyedszáma mellett volt megfigyelhető egy kisebb mértékű hajtásszám csökkenés (kontroll-20%), amelyet a továbbiakban hanyatlás követett. Ezeket az eredményeket az 54-56. ábra mutatja be.



54. ábra: Aviron-GK Szilárd fejlődésmenete a borsó 50 db/m²vetéssűrűsége mellett 2023-ban



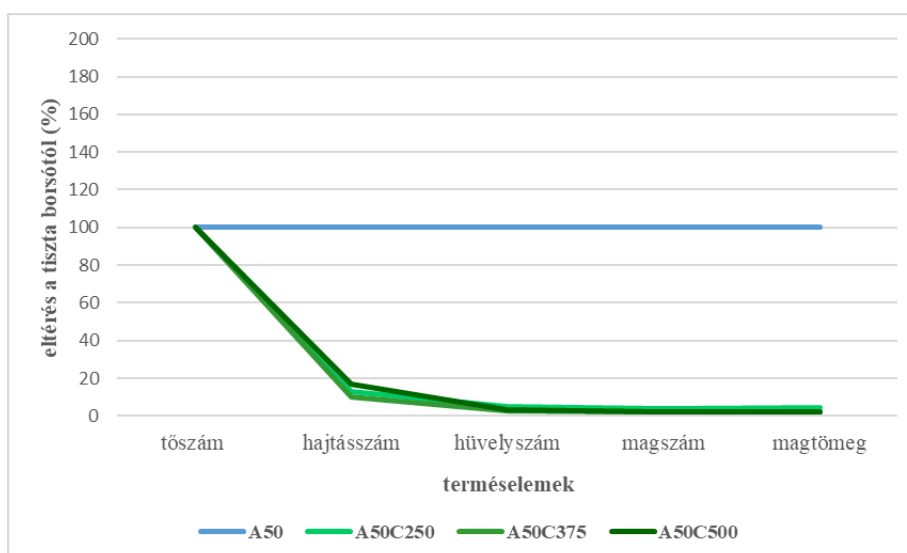
55. ábra: Aviron-GK Szilárd fejlődésmenete a borsó 75 db/m²vetéssűrűsége mellett 2023-ban



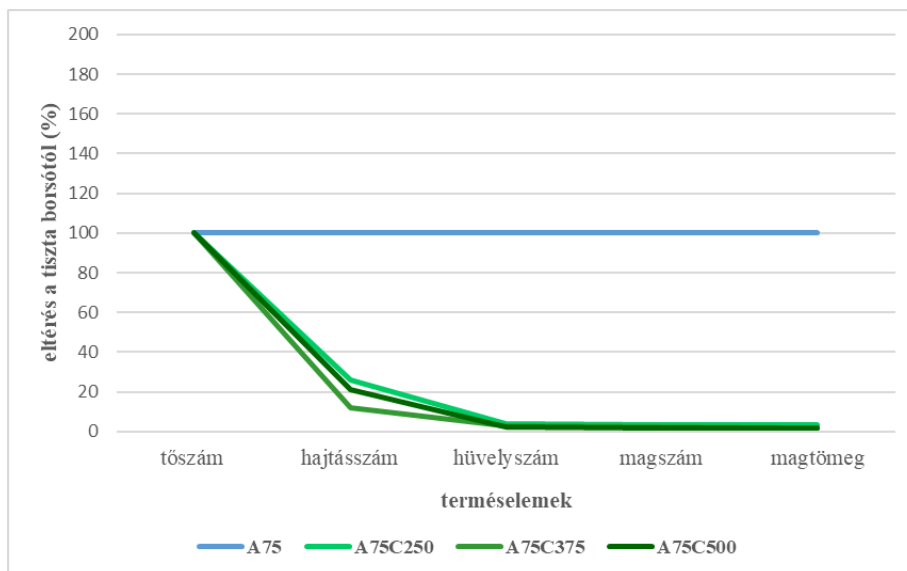
56. ábra: Aviron-GK Szilárd fejlődésmenete a borsó 100 db/m²vetéssűrűsége mellett 2023-ban

7.1.2.8. Aviron fejlődésmenete a Cellule keverékben 2023-ban

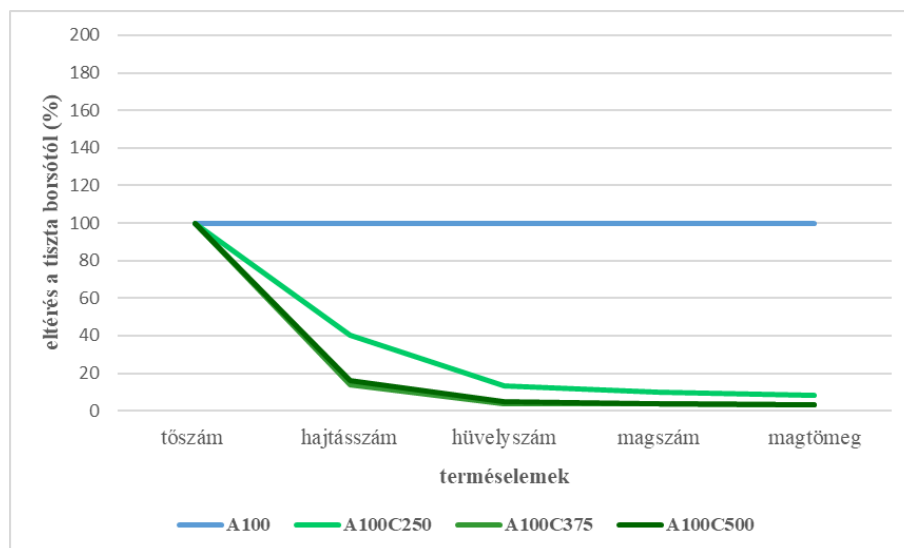
Az Aviron-Cellule keverék esetében nagyon hasonló eredményeket kaptam, mint amit már a GK Szilárd esetében megfogalmaztam. Ennél a búzafajtánál is a legnagyobb vetéssűrűség mellett fordult elő egy esetben kisebb hajtásszám csökkenés (kontroll-60%), de egyrészt ez a Cellule tekintetében nagyobb termés elem kiesést jelentett, mint ami a GK Szilárdnál jelentkezett, másfelől a borsó vetéssűrűsége ebben a konkrét keverékben csupán 50 db/m² volt. Az első két kísérleti évben nemcsak a társnövények vetéssűrűségében volt eltérés, hanem maguk az évek között is: 2021-ben és 2022-ben más-más társítás mutatott magasabb értékeket a hajtásszám fejlődési fázisban. A hüvelyszám stádiumot követően mind alacsony szinten maradtak a termés elem értékek. Kétségtől a harmadik kísérleti év volt az, amiben a búza dominanciája a leginkább megmutatkozott, és abszolút negatív hatással volt a borsó fejlődésére. Az évjárat hatás változásait, illetve az Aviron-Cellule társítás negatív fejlődésmenetét az 57-59. ábrán mutatom be.



57. ábra: Aviron-Cellule fejlődésmenete a borsó 50 db/m²vetéssűrűsége mellett 2023-ban



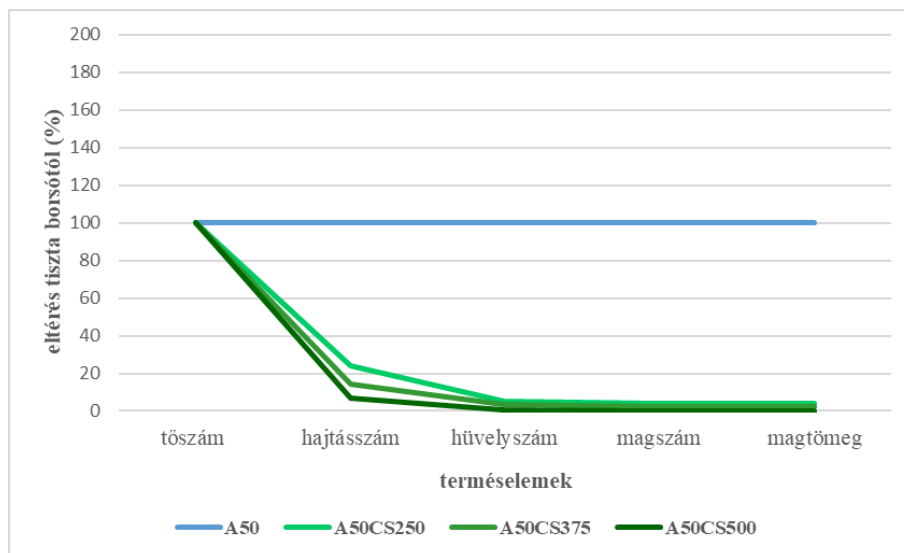
58. ábra: Aviron-Cellule fejlődésmenete a borsó 75 db/m²vetéssűrűsége mellett 2023-ban



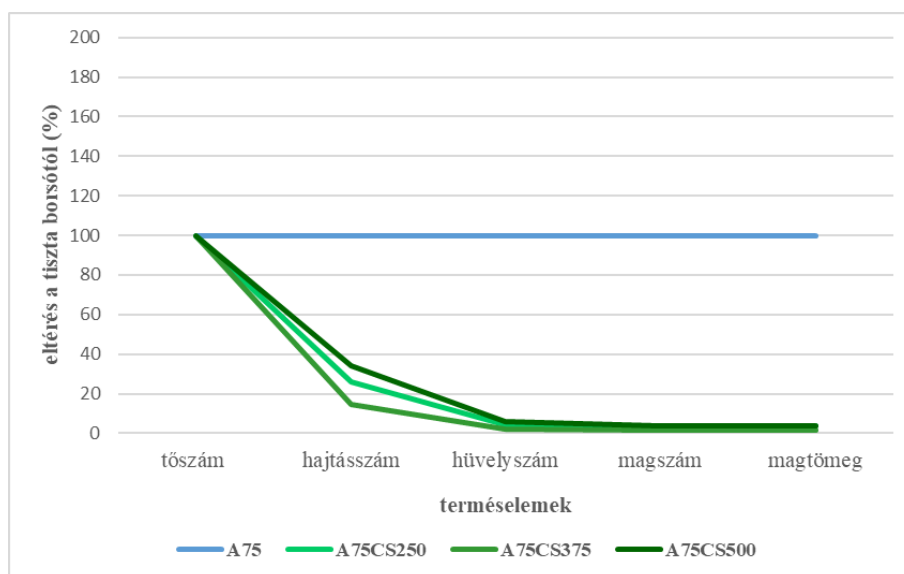
59. ábra: Aviron-Cellule fejlődésmenete a borsó 100 db/m²vetéssűrűsége mellett 2023-ban

7.1.2.9. Aviron fejlődésmenete a GK Csillag keverékben 2023-ban

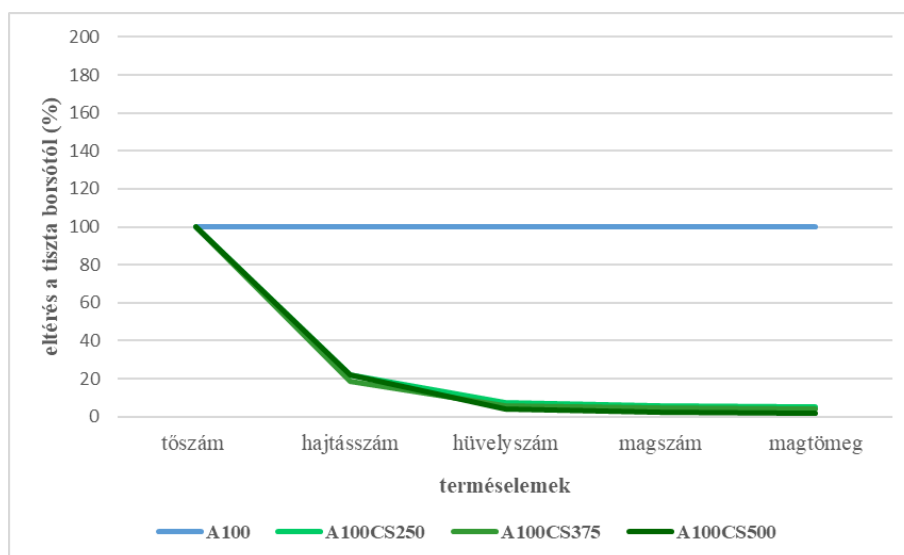
Az Aviron GK Csillaggal való társítása sem hozott változást a borsó fejlődésmenetét illetően. Minden keverék esetében nagyon kisszámú borsótő volt található, amiből adódóan a többi termélelem száma is rendkívül alacsony szinten maradt. Az egyes vetéssűrűségek között minimális eltérés mutatkozott, a fejlődési görbék szinte átfedésben voltak egymással. 2023-ban mindhárom búzafajta mellett alacsony borsó termélelem értékek mutatkoztak, amely arra mutat, hogy a borsó fejlődése a búza elnyomó hatásától függetlenül maradt el az előző évek eredményétől. Az Aviron-GK Csillag társítás fejlődésmenetét a 60-62. ábrán tüntettem fel.



60. ábra: Aviron-GK Csillag fejlődésmenete a borsó 50 db/m²vetéssűrűsége mellett 2023-ban



61. ábra: Aviron-GK Csillag fejlődésmenete a borsó 75 db/m²vetéssűrűsége mellett 2023-ban



62. ábra: Aviron-GK Csillag fejlődésmenete a borsó 100 db/m²vetéssűrűsége mellett 2023-ban

7.2 Kölcsönhatás az őszi búza és az őszi borsó között

A MANOVA mindhárom faktor esetében szignifikáns volt (a Wilk's lambda értékek 0,76, 0,29, 0,83 voltak a fajta, Zwi illetve Zpi esetében, $p < 0,001$). Az évjáráthatás szintén szignifikáns volt (Wilk's lambda=0,08, $p < 0,001$). Ugyanakkor a másod- és harmadrendű faktoriális interakció egyike sem volt szignifikáns (fajta*Zwi, fajta*Zpi, Zwi*Zpi és fajta*Zwi*Zpi, $p > 0,05$).

Az ezt követő háromtényezős véletlen blokk elrendezésű egyváltozós ANOVA tesztek a következő esetben mutattak ki szignifikáns eltérést:

- évjárat hatás az összes kompetíciós index esetében
- Zwi hatás az összes kompetíciós index tekintetében, kivéve CR
- Zpi hatás A és CR esetében, és fajtahatás az A, CR, MAI és IA tekintetében (4. táblázat)

4. táblázat: Háromtényezős véletlen blokk elrendezésű egyváltozós ANOVA teszt eredménye kiemelve a faktorok: a búzafajta, a búzaarány (Zwi), a borsóarány (Zpi), valamint az év hatását a kompetíciós indexekre (F értékek 2,289 szabadságfok mellett)

Kompetíciós indexek	faktorok			
	Fajta	Zwi	Zpi	Év
Területarányos hozam index (LER)	2,75+	7,15***	1,85 ns	97,21***
Agresszivitás (A)	17,89***	118,20***	7,75***	7,19***
Kompatibilitás arány (CR)	15,40***	1,00ns	19,82***	8,72***
Tényleges termésveszteség (AYL)	2,76+	8,92***	2,05 ns	111,32***
Gazdasági előny (MAI)	4,60***	6,89**	2,94 +	111,20***
Növénytársítás előny (IA)	5,41**	5,31***	1,80 ns	57,64**

szignifikáns a következő szinten: + $p < 0,1$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$, ns: nem szignifikáns

7.2.1. Kompetíciós indexek

7.2.1.1. Területarányos hozam index (LER)

A társnövények közötti kölcsönhatás mérésére leggyakrabban alkalmazott és ismert módszer a területarányos hozam index (LER). Ez a számítás az erőforrás felhasználás ábrázolására szolgál, és azt a relatív területet jelöli, amely a tiszta vetésben szükséges, hogy ugyanannyi teremjen, mint társításban. Az első tenyészidőszakban (2020/2021) valamennyi társítás értéke meghaladta az 1 egységet, az értékek 1,07 és 1,42 között változtak. Az 1,42 érték azt jelenti, hogy 42 %-kal több terület szükséges monokultúrában, mint keverékben azonos hozam eléréséhez. A legmagasabb LER értéket a GK Csillag/Aviron 100:75 arányú társítása adta (1.42). A borsó részleges LER eredményei minden esetben 1 egység alatt voltak, ami a hátrányos helyzetére utal a keveréken belül. Ellenben a GK Csillag részleges LER értékei önmagukban is a 9 keverék közül 8 esetben haladta meg az 1 egységet. A többi társításban a búza területegységre vetítve kevesebb termést adott keverékvetésben, mint tiszta állományban. A LER értékek átlagai és a statisztikai elemzés eredményei az 5. táblázatban láthatók. 2021-ben a LER értékeket a búza vetésaránya befolyásolta (Zwi). A Cellule/Aviron 75:50 és 100:50 vetésarány között szignifikáns eltérés volt $p < 0,001$ mellett.

5. táblázat: Területarányos hozam index (LER) átlaga és szórása 2021-ben GK Szilárd, Cellule és GK Csillag őszi búzafajta, valamint Aviron őszi borsó keverékvetése esetén különböző vetésarányok mellett

	Borsó vetésarány (Zpi)
--	------------------------

		50	75	100
Búza/Borsófajta	Búza vetésarány (Zwi)	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás
Cellule /Aviron	50	1,25 ± 0,03 AB	1,23 ± 0,19	1,35 ± 0,31
	75	1,38 ± 0,14 B	1,07 ± 0,19	1,14 ± 0,13
	100	1,14 ± 0,13 A	1,15 ± 0,23	1,29 ± 0,43
GK Csillag/Aviron	50	1,31 ± 0,25	1,29 ± 0,38	1,30 ± 0,35
	75	1,31 ± 0,45	1,29 ± 0,38	1,30 ± 0,36
	100	1,38 ± 0,35	1,42 ± 0,20	1,34 ± 0,40
GK Szilárd/Aviron	50	1,35 ± 0,15	1,27 ± 0,09	1,37 ± 0,09
	75	1,14 ± 0,14	1,16 ± 0,12	1,23 ± 0,11
	100	1,25 ± 0,12	1,22 ± 0,10	1,23 ± 0,08

A szignifikánsan eltérő csoportokat különböző nagybetűk jelzik az egymás alatti cellákban a búza vetésarány (Zwi) vizsgálatokor rögzített búzafajta és borsó vetésarány (Zpi) mellett. Tukey teszt: $p < 0,05$. A búzafajta és a Zpi hatás nem volt szignifikáns 2021-ben ($p > 0,05$).

A második tenyészidőszakra (2021/2022) is jellemző volt, hogy a LER értékek meghaladták az 1 egységet, de a terméstöbbség más társított parcellák esetében jelentkezett, mint azt az első évben volt látható. A maximális LER értéket a Cellule/Aviron 75:50 vetésarányánál számoltam (1,59), míg a többi LER érték az 1,04 és 1,59 között helyezkedett el. A részleges LER értékek a borsó esetében ugyancsak 1 egység alatt maradtak ebben a tenyészidőszakban is, a legmagasabb érték is mindössze 0,59 volt a Cellule/Aviron 50:100 vetésaránya mellett. A búza részleges LER értékei a következő 5 társításban voltak magasabbak 1 egységnél: GK Szilárd/Aviron 50:50, 50:100, 100:50 és Cellule/Aviron 75:50, 100:50. Míg a GK Csillag/Aviron 50:50 és a Cellule/Aviron 75:75 arányú keveréke pontosan 1 értéket vett fel, tehát nem volt különbség a tiszta és a kevert vetés között a LER szempontjából. 2022-ben a LER értékekre a búzafajta volt hatással, szignifikáns eltérés az 50:75 és a 75:75 kombinációkban volt igazolható a Cellule és a GK Csillag között, a Cellule javára (6. táblázat).

6. táblázat: Területarányos hozam index (LER) átlaga és szórása 2022-ben GK Szilárd, Cellule és GK Csillag őszi búzafajta, valamint Aviron őszi borsó keverékvetése esetén különböző vetésarányok mellett

		Borsó vetésarány (Zpi)		
		50	75	100
Búza/Borsófajta	Búza vetésarány (Zwi)	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás
Cellule /Aviron	50	1,18 ± 0,23	1,51 ± 0,32 b	1,48 ± 0,48
	75	1,59 ± 0,54	1,43 ± 0,25 b	1,25 ± 0,29
	100	1,40 ± 0,46	1,23 ± 0,18	1,22 ± 0,19
GK Csillag/Aviron	50	1,23 ± 0,18	1,09 ± 0,12 a	1,04 ± 0,11

	75	1,15 ± 0,13	1,11 ± 0,05 a	1,06 ± 0,13
	100	1,05 ± 0,13	1,07 ± 0,08	1,04 ± 0,07
GK Szilárd/Avion	50	1,42 ± 0,11	1,28 ± 0,17 ab	1,32 ± 0,17
	75	1,22 ± 0,06	1,17 ± 0,01 ab	1,15 ± 0,08
	100	1,31 ± 0,36	1,15 ± 0,26	1,20 ± 0,24

A szignifikánsan eltérő csoportokat kisbetűvel és a szürke árnyalataival jelölik az oszlopokon belüli cellákban a búzafajta vizsgálatok rögzített Zwi és rögzített Zpi értékek mellett (Tukey teszt $p < 0,05$). A Zwi és Zpi hatás nem volt szignifikáns 2022-ben ($p > 0,05$).

A teljes LER értékek a harmadik tenyészedőszakban (2022/2023) nem voltak összhangban az előző évekkel. Terméselőny csupán a GK Szilárd/Avion 50:50, a Cellule/Avion 50:75, valamint a GK Csillag 50:50 és 50:75 vetésarány mellett valósult meg. A többi esetben a teljes LER 1 alatt volt, ami arra utal, hogy ebben az évben a monokultúras termesztés kedvezőbb volt a társításnál egységnyi területen. Az összes részleges LER érték 1 alatt volt mindkét társnövényt illetően. Míg a borsó maximális értéke ($LER_p=0,36$) a GK Csillag/Avion 50:50 vetésarány mellett, addig a búza legnagyobb értéke ($LER_w=0,86$) a 100:50 vetésarány mellett teljesült. A harmadik tenyészedőszakban egyáltalán nem tudtam statisztikai különbséget kimutatni (7. táblázat).

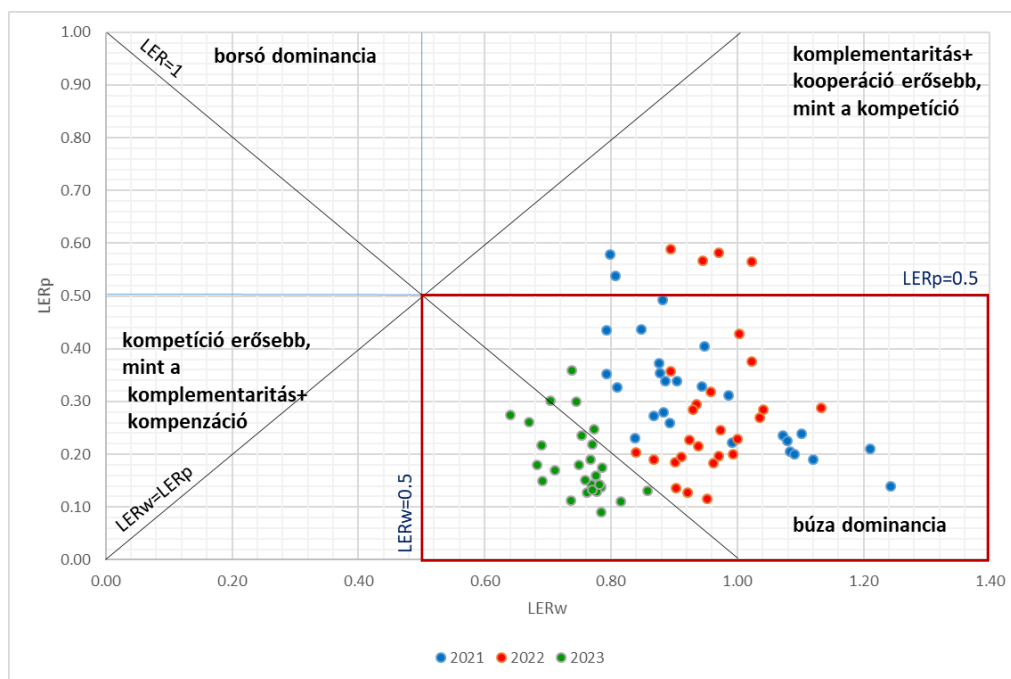
7. táblázat: Területarányos hozam index (LER) átlaga és szórása 2023-ban GK Szilárd, Cellule és GK Csillag őszi búzafajta, valamint Avion őszi borsó keverékvetése esetén különböző vetésarányok mellett

		Borsó vetésarány (Zpi)		
		50	75	100
Búza/Borsófajta	Búza vetésarány (Zwi)	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás
Cellule /Avion	50	0,99 ± 0,06	1,01 ± 0,09	1,01 ± 0,09
	75	0,94 ± 0,14	0,96 ± 0,13	0,93 ± 0,08
	100	0,99 ± 0,17	0,89 ± 0,09	0,91 ± 0,05
GK Csillag/Avion	50	1,10 ± 0,13	1,05 ± 0,11	0,93 ± 0,10
	75	0,91 ± 0,13	0,88 ± 0,10	0,86 ± 0,13
	100	0,91 ± 0,10	0,90 ± 0,07	0,93 ± 0,07
GK Szilárd/Avion	50	1,02 ± 0,12	0,99 ± 0,12	0,99 ± 0,06
	75	0,96 ± 0,21	0,84 ± 0,17	0,92 ± 0,19
	100	0,93 ± 0,06	0,87 ± 0,08	0,85 ± 0,11

A vizsgált három faktor egyike sem mutatott szignifikáns eltérést ($p > 0,05$).

A LER értékek grafikus ábrázolásának ötlete Williams és McCarthy-tól származik (2001), ezáltal a társnövények között fennálló lehetséges kölcsönhatások egy koordináta rendszeren belül mutathatók be. Az eredeti ábrázolás során a helyettesítő elrendezésből adódóan a tiszta vetésben alkalmazott vetéssűrűség felével számolnak. Ennek megfelelően a részleges LER referenciavonal az 1,00 értékhez esik. A referenciavonal értékének 0,5-re való csökkentése Bedoussac és Justes

(2011), majd ennek újra értelmezése Justes et al. (2021) által, egyben lehetőséget nyújt a vetésarányok szerepének hangsúlyozására. Amennyiben elfogadjuk ezt a módosítást, és a LERw értéket térben a LERp értékek függvényében ábrázoljuk, látható válik, hogy ezek az értékek (6 kivételével) egy négyzetbe esnek. Valamennyi tenyészidőszakban az értékek a referenciavonal alatt találhatók, ami a búza dominanciáját támasztja alá a borsó felett. Ugyan a legtöbb esetben a teljes $LER > 1$, és területegységenként több termést mutat társításban, de ezek a keverékek kiegyensúlyozatlanok a társnövények között fennálló túlzott versengés miatt. A 6 kiugró érték a jobb felső négyzetben található, ebben az esetben a fajok közötti komplementaritás és kooperáció hatásai erősebbek, mint a versengés. A 6 kiugró érték a következő volt: 2021-ben a Cellule/Aviron 50:100, 75:50 arányú keverék, valamint 2022-ben ezeken a keverékeken túl szintén a Cellule/Aviron társításból az 50:75 és az 50:50 vetésarányú kombinációk is ebbe a kategóriába estek. 2023-ban szinte az összes társított parcella értéke 1-nél kisebb volt, ami azt mutatja, hogy ebben az évben a keverékvetés hátrányos volt a társnövények számára a termés szempontjából. A LER értékek grafikus megjelenítése a 63. ábrán látható.



63. ábra: A két társnövény részleges LER értékeinek grafikus ábrázolása az összes lehetséges kölcsönhatást bemutatja. A $LERw = LERp$ átló azokat a területeket választja el, ahol a búza, vagy a borsó dominál. A $LER = 1$ átló feletti rész a terméselőnyt mutatja. A részleges $LER = 0,5$ alatti értékek azt jelölik, hogy a társítás terméshozama alacsonyabb, mint önálló termesztésben. Ennek ellentéte teljesül a részleges $LER = 0,5$ egyenes alatti területen (Bedoussac és Justes (2011) nyomán).

7.2.1.2. Agresszivitás (A)

Az agresszivitás megmutatja, hogy mennyivel nagyobb a termésnövekedés az egyik társnövény részéről a másikkal szemben. A búzára vonatkozóan az összes tenyészidőszakban pozitív értékeket kaptam, aminek éppen az ellenkezője volt jellemző a borsóra. Ez alól egy kivétel akadt a 2021-es évben a Cellule/Aviron 75:50 vetésarányú keveréke esetén ($Aw = -0,09$, $Ap = +0,09$). A pozitív értékek egyértelműen a búza dominanciájára utalnak, míg a megfordult előjel arra utal, hogy az agresszivitás könnyen az ellentettjére változhat a környezeti tényezők változása révén. Az Aw értékei $-0,09$ és $1,89$ között mozogtak az első tenyészidőszakban, a rákövetkező években ez az intervallum leszűkült (2022-ben $0,23$ és $1,8$ közé, majd 2023-ban $0,52$ és $1,25$ közé esett). Kísérletemben három faktort vizsgáltam: a fajta, a borsó vetésarány (Zpi), és a búza vetésarány (Zwi) hatását az agresszivitásra (Aw). A fajta esetében az első évben a Cellule és a GK Csillag között szignifikáns eltérés volt a búza 50:100 és a 75:50 vetésarányú keveréknél. Valamint jelentős különbség volt a GK Szilárd és a GK Csillag 100:50 arányú keveréke mellett. A második évben a GK Szilárd és a Cellule között volt igazolható szignifikancia az 50:100 vetésarány esetén.

Míg az első évben a GK Csillag bizonyult agresszívabbnak a társításon belül, addig a második évben ugyanez a GK Szilárdról bizonyosodott be. A harmadik évben nem tudtam szignifikáns eltérést kimutatni a fajta tekintetében. A borsó vetésarányt illetően minél jobban növeltem a borsó arányát a keveréken belül, annál nagyobb agresszivitást tapasztaltam. Szignifikáns eltérést a Cellule/Aviron társítás esetében tudtam kimutatni a 75:50 / 75:75, illetve 75:100 vetésarány között. A 2022-es évben nem volt igazolható eltérés a vetésarányok között, miközben 2023-ban a GK Csillag/Aviron 50:50 / 50:75 és 50:100 vetésarány között volt statisztikai különbség. A búza vetésarány szempontjából a legkisebb vetésarány nagyobb értékeket mutatott mindhárom tenyészedzőszakban, amelyet statisztikailag a következő keverékek esetében tudtam igazolni: a GK Szilárd/Aviron 50:75 / 100:75, továbbá az 50:100 / 100:100 között. A Cellule/Aviron kombináció esetében ugyanez a vetésarány mellett volt szignifikáns eltérés azzal a különbséggel, hogy itt csak az első és a harmadik évben teljesült a szignifikancia. A GK Csillag/Aviron keveréknél az 50:100 / 75:100 és 100:100 vetésarány esetében volt statisztikai eltérés. Az agresszivitás eredményeit a 8-10. táblázatban foglaltam össze.

8. Táblázat: Agresszivitás (A) átlaga és szórása 2021-ben GK Szilárd, Cellule és GK Csillag őszi búzafajta, valamint Aviron őszi borsó keverékvetése esetén különböző vetésarányok mellett

		Borsó vetésarány (Zpi)		
		50	75	100
Búza/Borsófajta	Búza vetésarány (Zwi)	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás
Cellule /Aviron	50	1,01 ± 0,36	1,29 ± 0,23 B	1,08 ± 0,22 Ba
	75	-0,09 ± 0,36 aa	0,81 ± 0,11 βA	0,71 ± 0,36 βAB
	100	0,32 ± 0,20 ab	0,55 ± 0,09 A	0,41 ± 0,31 A
GK Csillag/Aviron	50	1,68 ± 0,39	1,89 ± 0,78	1,66 ± 0,32 Bb
	75	1,11 ± 0,54 b	1,19 ± 0,62	1,21 ± 0,47 AB
	100	0,96 ± 0,35 b	0,93 ± 0,22	0,86 ± 0,17 A
GK Szilárd/Aviron	50	1,09 ± 0,45 B	1,45 ± 0,39 B	1,27 ± 0,22 Bab
	75	0,45 ± 0,26A Bab	0,81 ± 0,35 AB	0,62 ± 0,44 A
	100	0,23 ± 0,45 Aa	0,70 ± 0,27 A	0,55 ± 0,21 A

A szignifikánsan eltérő csoportokat különböző betűk jelölik (Tukey teszt: $p < 0,05$). A kisbetűk az oszlopokon belüli cellákban a szürke árnyalataival a búzafajta hatását jelzik rögzített Zwi és Zpi mellett. A közvetlenül egymás alatt lévő cellákban lévő nagybetűk a Zwi hatását jelzik rögzített búzafajta és Zpi mellett. A görög betűk a Zpi hatását jelölik rögzített búzafajta és Zwi mellett (vízszintes olvasatban).

9. táblázat: Agresszivitás (A) átlaga és szórása 2022-ben GK Szilárd, Cellule és GK Csillag őszi búzafajta, valamint Aviron őszi borsó keverékvetése esetén különböző vetésarányok mellett

		Borsó vetésarány (Zpi)		
		50	75	100
Búza/Borsófajta	Búza vetésarány (Zwi)	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás

Cellule /Aviron	50	1,54 ± 0,41	1,13 ± 0,36	1,20 ± 0,43 a
	75	0,23 ± 0,95	0,77 ± 0,38	0,84 ± 0,21
	100	0,27 ± 0,63	0,54 ± 0,10	0,65 ± 0,10
GK Csillag/Aviron	50	1,55 ± 0,46 B	1,56 ± 0,28 B	1,48 ± 0,17 Bab
	75	0,82 ± 0,22 A	0,96 ± 0,10 A	0,97 ± 0,18 A
	100	0,67 ± 0,19 A	0,80 ± 0,20 A	0,77 ± 0,16 A
GK Szilárd/Aviron	50	1,69 ± 0,32 B	1,49 ± 0,38 B	1,80 ± 0,20 Bb
	75	0,81 ± 0,26 A	1,03 ± 0,21 AB	1,10 ± 0,17 A
	100	0,50 ± 0,46 A	0,62 ± 0,27 A	0,79 ± 0,09 A

A szignifikánsan eltérő csoportokat különböző betűk jelölik (Tukey teszt: $p < 0,05$). A kisbetűk az oszlopokon belüli cellákban a búzafajta hatását jelzik rögzített Zwi és rögzített Zpi mellett. A közvetlenül egymás alatt lévő cellákban lévő nagybetűk a Zwi hatását jelzik rögzített Zpi mellett. A Zpi hatás nem volt szignifikáns 2022-ben ($p > 0,05$).

10. táblázat: Agresszivitás (A) átlaga és szórása 2023-ban GK Szilárd, Cellule és GK Csillag őszi búzafajta, valamint Aviron őszi borsó keverékvetése esetén különböző vetéсарányok mellett

		Borsó vetéсарány (Zpi)		
		50	75	100
Búza/Borsófajta	Búza vetéсарány (Zwi)	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás
Cellule /Aviron	50	1,04 ± 0,15 B	1,01 ± 0,17 B	1,01 ± 0,15 B
	75	0,72 ± 0,03 A	0,77 ± 0,13 AB	0,82 ± 0,12 AB
	100	0,60 ± 0,18 A	0,59 ± 0,18 A	0,63 ± 0,15 A
GK Csillag/Aviron	50	0,76 ± 0,03 αB	1,09 ± 0,17 βB	1,08 ± 0,17 βB
	75	0,71 ± 0,08 B	0,72 ± 0,20 A	0,73 ± 0,08 A
	100	0,52 ± 0,08 A	0,59 ± 0,10 A	0,64 ± 0,09 A
GK Szilárd/Aviron	50	1,05 ± 0,43	1,25 ± 0,39 B	1,14 ± 0,24 B
	75	0,70 ± 0,34	0,72 ± 0,12 AB	0,91 ± 0,24 AB
	100	0,60 ± 0,12	0,67 ± 0,10 A	0,63 ± 0,12 A

A szignifikánsan eltérő csoportokat különböző betűk jelölik (Tukey teszt: $p < 0,05$). A közvetlenül egymás alatt lévő cellákban lévő nagybetűk a Zwi hatását jelzik rögzített Zpi mellett. A görög betűk a Zpi hatását jelölik rögzített búzafajta és Zwi mellett (vízszintes olvasatban). A búzafajta hatása nem mutatott szignifikáns eltérést 2023-ban ($p > 0,05$).

7.2.1.3. Versenyképességi arány (CR)

Ez a mutató a versenyképességet méri: az agresszivitáshoz hasonlóan a búza esetében magasabb értékeket kaptam, mint a borsónál (kivéve a Cellule/Aviron 75:50 keverékénél 2021-ben), ami a búza erősebb versenyképességét igazolja. A CR értékek alakulásában a fajta az első két évben játszott szerepet, és valamennyi esetben a GK Csillag bizonyult dominánsabbnak a másik kettővel szemben. A 75:50 és a 100:50 vetéсарányú keverékek a Cellule és GK Szilárd

esetében szignifikánsan eltértek a GK Csillagtól, de csak az első évben. Az 50:100 vetésarányú társítás a Cellule esetében tért el a két GK fajtától kizárólag a második évben. Mindkét tenyészidőszakban statisztikai eltérést mutattam ki a Cellule és a GK Csillag fajták között az 50:75 vetésarány mellett. A borsó vetésarány hatása csak a második tenyészidőszakban volt mérhető a GK Csillag/Aviron társítás esetében a 75:50 és a 75:100 vetésarány között. A nagyobb borsóarány a keveréken belül növelte a versenyképességet is. Ezzel szemben a búza vetésarányának hatása nem volt egyértelmű a versenyképességet illetően. Az első évben a Cellule/Aviron 50:50 és a 75:50 arányú keverék között volt szignifikáns eltérés a kisebbik vetésarány javára. A harmadik évben viszont a GK Csillag/Aviron keverékben volt igazolható statisztika eltérés ugyan ezek a vetésarányok között, de a magasabb érték a GK Csillag magasabb vetésaránya mellett valósult meg. A versenyképesség statisztikai értékeléseit a 11-13. táblázat ismerteti.

11. táblázat: Versenyképességi arány (CR) átlaga és szórása 2021-ben GK Szilárd, Cellule és GK Csillag őszi búzafajta, valamint Aviron őszi borsó keveréketése esetén különböző vetésarányok mellett

		Borsó vetésarány (Zpi)		
		50	75	100
Búza/Borsófajta	Búza vetésarány (Zwi)	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás
Cellule /Aviron	50	2,92 ± 0,66 B	4,00 ± 0,34 a	3,54 ± 0,71
	75	2,08 ± 0,11 Aa	4,31 ± 1,39	4,27 ± 1,78
	100	2,31 ± 0,30 ABa	3,03 ± 0,37	3,12 ± 0,89
GK Csillag/Aviron	50	4,96 ± 1,33	8,34 ± 3,58 b	7,44 ± 3,16
	75	4,29 ± 1,21 b	7,10 ± 4,14	6,79 ± 2,33
	100	4,90 ± 1,58 b	4,76 ± 1,32	6,77 ± 4,99
GK Szilárd/Aviron	50	3,02 ± 1,10	4,90 ± 1,54 ab	4,05 ± 1,13
	75	2,37 ± 0,41 a	3,84 ± 1,63	3,32 ± 1,12
	100	2,41 ± 0,34 a	4,05 ± 1,22	3,34 ± 1,10

A szignifikánsan eltérő csoportokat különböző betűk jelölik. A kisbetűk az oszlopokon belüli cellákban a szürke árnyalataival a búzafajta hatását jelzik rögzített Zwi és Zpi mellett (Tukey teszt: $p < 0,05$). A közvetlenül egymás alatt lévő cellákban lévő nagybetűk a Zwi hatását jelzik rögzített Zpi mellett. A Tukey teszt csak kis mértékben szignifikáns ($p < 0,1$), és csak a Cellule/Aviron társítás esetében teljesül a borsó 50%-os vetéssűrűsége mellett. A Zwi és Zpi hatás nem volt szignifikáns 2021-ben ($p > 0,05$).

12. táblázat: Versenyképességi arány (CR) átlaga és szórása 2022-ben GK Szilárd, Cellule és GK Csillag őszi búzafajta, valamint Aviron őszi borsó keveréketése esetén különböző vetésarányok mellett

		Borsó vetésarány (Zpi)		
		50	75	100
Búza/Borsófajta	Búza vetésarány (Zwi)	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás
Cellule /Aviron	50	9,55 ± 9,35	3,37 ± 1,21 a	4,35 ± 1,74 a
	75	2,73 ± 0,70	3,61 ± 1,64	4,52 ± 1,60

	100	3,52 ± 2,33	2,98 ± 0,53	4,01 ± 1,15
GK Csillag/Aviron	50	7,30 ± 4,46	7,92 ± 2,51 b	8,58 ± 1,57 b
	75	3,54 ± 1,03 α	4,99 ± 0,83 αβ	6,39 ± 1,31 β
	100	8,86 ± 10,15	7,68 ± 3,70	8,80 ± 4,31
GK Szilárd/Aviron	50	4,86 ± 1,96	5,58 ± 2,24 ab	7,71 ± 1,34 b
	75	3,29 ± 1,01	6,39 ± 4,00	8,19 ± 3,82
	100	4,24 ± 2,78	4,59 ± 2,50	6,13 ± 2,49

A szignifikánsan eltérő csoportokat különböző betűk jelölik (Tukey teszt: $p < 0,05$). A kisbetűk az oszlopokon belüli cellákban a búzafajta hatását jelzik rögzített Zwi és Zpi mellett. A görög betűk a Zpi hatását jelölik rögzített búzafajta és Zwi mellett (vízszintes olvasatban). Zwi hatása nem bizonyult szignifikánsnak a 2022-es évben ($p > 0,05$).

13. táblázat: Versenyképességi arány (CR) átlaga és szórása 2023-ban GK Szilárd, Cellule és GK Csillag őszi búzafajta, valamint Aviron őszi borsó keverékvetése esetén különböző vetésarányok mellett

		Borsó vetésarány (Zpi)		
		50	75	100
Búza/Borsófajta	Búza vetésarány (Zwi)	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás
Cellule /Aviron	50	3,65 ± 0,64	4,07 ± 1,09	4,39 ± 0,91
	75	3,80 ± 0,87	4,60 ± 1,38	6,56 ± 3,23
	100	4,00 ± 1,47	6,04 ± 3,03	6,82 ± 3,68
GK Csillag/Aviron	50	2,56 ± 0,13 A	4,30 ± 1,08	6,01 ± 2,24
	75	3,73 ± 0,48 B	4,66 ± 1,46	5,53 ± 1,10
	100	3,56 ± 0,99 AB	5,31 ± 2,02	6,22 ± 2,24
GK Szilárd/Aviron	50	5,14 ± 3,75	8,06 ± 5,49	5,91 ± 2,40
	75	4,40 ± 1,79	6,57 ± 3,54	10,00 ± 5,26
	100	4,43 ± 1,67	11,26 ± 8,97	21,26 ± 26,19

Kis mértékű szignifikáns eltérést tapasztaltunk Zwi hatása esetében, melyet közvetlenül az egymás alatt lévő cellákban lévő nagybetűkkel jelöltünk rögzített Zpi mellett (Tukey teszt $p < 0,1$, és csak a GK Csillag/Aviron társítás mellett a borsó 50%-os vetésaránya esetén). Egyik vizsgált faktor sem volt szignifikáns 2023-ban $p > 0,05$ mellett.

7.2.1.4. Tényleges termésveszteség (AYL)

A tényleges termésveszteség index általában a növénytársulás termésveszteségét, vagy nyereségét értékeli a tiszta állományokhoz képest. Minden esetben negatív értékeket találtam a teljes AYL értékek között, jelezve, hogy ezekben a keverékekben mindkét társnövény jelentős termésveszteségeket szenvedett el. A legkisebb AYL érték (-1%), és a legnagyobb is (-21%) a GK Szilárd/Aviron társításánál figyelhető meg a 2021-es évben a 100:75, illetve a 75:100 vetésarány mellett. Tehát a társnövények megfordított vetésaránya a termésveszteség növekedését vonta maga után. Pozitív AYL értékek csupán a búza részeredményeinél fordultak elő a GK Csillag fajta mellett, ahol a maximum termésmennyiség a 24%-ot is elérte az 50:100 vetéssűrűség esetében.

Ezzel szemben a borsó részeredményei a termésvesztésről illetően negatívak maradtak. Ennél fogva a társítás végkimenetelét a borsó határozta meg. Egyik faktor hatását sem sikerült igazolni ebben a tenyésztési időszakban. A következő évben a fajta befolyással volt az AYL értékek, amit a 75:75 vetésarány esetében statisztikailag is igazolni tudtam a Cellule és a GK Csillag esetében, valamint az 50:100 vetésarány mellett a Cellule/ GK Szilárd és a GK Csillag között is. A maximum termésnyereség a búzára vonatkozóan ebben az évben már csak a 13%-ot érte el a GK Szilárd/Aviron 50:50 arányú keveréke mellett, míg a borsó termésvesztése a -18% és a -89% között mozgott. Az utolsó év az abszolút veszteséget mutatta mindkét társnövény számára: a búza esetében ez -33%-ot jelentett a GK Csillag/Aviron 50:100 keverék esetében, míg a borsó a -91%-ot is elérte a GK Szilárd/Aviron 100:75 társítás mellett. Ebben az évben sem tudtam statisztikai eltérést igazolni. A tényleges termésvesztés statisztikai értékelését a 14-16. táblázat tartalmazza.

14. táblázat: Tényleges termésvesztés (AYL) átlaga és szórása 2021-ben GK Szilárd, Cellule és GK Csillag őszi búzafajta, valamint Aviron őszi borsó keverékvetése esetén különböző vetésarányok mellett

		Borsó vetésarány (Zpi)		
		50	75	100
Búza/Borsófajta	Búza vetésarány (Zwi)	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás
Cellule /Aviron	50	-0,76 ± 0,03	-0,77 ± 0,19	-0,66 ± 0,31
	75	-0,62 ± 0,14	-0,93 ± 0,19	-0,86 ± 0,13
	100	-0,86 ± 0,13	-0,85 ± 0,23	-0,72 ± 0,43
GK Csillag/Aviron	50	-0,69 ± 0,25	-0,72 ± 0,38	-0,71 ± 0,35
	75	-0,69 ± 0,45	-0,71 ± 0,38	-0,70 ± 0,36
	100	-0,62 ± 0,35	-0,58 ± 0,20	-0,66 ± 0,40
GK Szilárd/Aviron	50	-0,65 ± 0,15	-0,73 ± 0,09	-0,63 ± 0,09
	75	-0,85 ± 0,12	-0,84 ± 0,12	-0,77 ± 0,11
	100	-0,76 ± 0,12	-0,79 ± 0,10	-0,78 ± 0,08

A vizsgált faktorok egyike sem volt szignifikáns 2021-ben ($p > 0,05$).

15. táblázat: Tényleges termésvesztés (AYL) átlaga és szórása 2022-ben GK Szilárd, Cellule és GK Csillag őszi búzafajta, valamint Aviron őszi borsó keverékvetése esetén különböző vetésarányok mellett

		Borsó vetésarány (Zpi)		
		50	75	100
Búza/Borsófajta	Búza vetésarány (Zwi)	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás
Cellule /Aviron	50	-0,82 ± 0,23	-0,49 ± 0,32	-0,52 ± 0,48 b
	75	-0,41 ± 0,54	-0,57 ± 0,25 b	-0,75 ± 0,29
	100	-0,60 ± 0,46	-0,77 ± 0,18	-0,79 ± 0,19
GK Csillag/Aviron	50	-0,77 ± 0,18	-0,91 ± 0,12	-0,96 ± 0,11 a

	75	$-0,85 \pm 0,13$	$-0,90 \pm 0,05$ a	$-0,94 \pm 0,13$
	100	$-0,95 \pm 0,13$	$-0,93 \pm 0,08$	$-0,96 \pm 0,07$
GK Szilárd/Aviron	50	$-0,58 \pm 0,11$	$-0,73 \pm 0,17$	$-0,68 \pm 0,17$ b
	75	$-0,78 \pm 0,06$	$-0,83 \pm 0,01$ ab	$-0,86 \pm 0,08$
	100	$-0,70 \pm 0,36$	$-0,85 \pm 0,26$	$-0,81 \pm 0,24$

A kisbetűk az oszlopokon belüli cellákban a búzafajta hatását jelzik rögzített Zwi és Zpi mellett (Tukey teszt $p < 0,05$). Sem a Zwi, sem a Zpi nem volt szignifikáns 2022-ben ($p > 0,05$).

16. táblázat: Tényleges termésveszteség (AYL) átlaga és szórása 2023-ban GK Szilárd, Cellule és GK Csillag őszi búzafajta, valamint Aviron őszi borsó keverékvetése esetén különböző vetésarányok mellett

		Borsó vetésarány (Zpi)		
		50	75	100
Búza/Borsófajta	Búza vetésarány (Zwi)	Átlag $\pm$ Szórás	Átlag $\pm$ Szórás	Átlag $\pm$ Szórás
Cellule /Aviron	50	$-1,01 \pm 0,06$	$-0,99 \pm 0,09$	$-0,99 \pm 0,09$
	75	$-1,07 \pm 0,14$	$-1,04 \pm 0,13$	$-1,07 \pm 0,08$
	100	$-1,01 \pm 0,17$	$-1,11 \pm 0,09$	$-1,09 \pm 0,05$
GK Csillag/Aviron	50	$-0,90 \pm 0,13$	$-0,95 \pm 0,11$	$-1,07 \pm 0,10$
	75	$-1,09 \pm 0,13$	$-1,12 \pm 0,10$	$-1,14 \pm 0,13$
	100	$-1,10 \pm 0,10$	$-1,10 \pm 0,07$	$-1,08 \pm 0,07$
GK Szilárd/Aviron	50	$-0,98 \pm 0,12$	$-1,01 \pm 0,12$	$-1,01 \pm 0,06$
	75	$-1,04 \pm 0,21$	$-1,16 \pm 0,17$	$-1,08 \pm 0,19$
	100	$-1,08 \pm 0,06$	$-1,13 \pm 0,08$	$-1,15 \pm 0,11$

A vizsgált faktorok egyike sem volt szignifikáns 2023-ban ($p > 0,05$).

7.2.2. Gazdasági mutatók

7.2.2.1. Gazdasági előny (MAI)

Az első két kísérleti évben a MAI értékek minden keverék esetében pozitívak voltak, ami azt mutatja, hogy ezekben az években a társított parcellák jelentős gazdasági előnnyel bírtak. 2021-ben a legjövedelmezőbb társítást a GK Csillag/Aviron 100:75 keveréke nyújtotta (124 265 Ft), míg a legalacsonyabb MAI érték a Cellule/Aviron 75:75 vetésarányú keveréke mellett valósult meg (26 991 Ft). Jól látható, hogy a jövedelmezőbb parcellák értékei többszörösét adták a kevésbé nyereséges parcellák értékeinek. Az összes többi társítás MAI értékei e két érték között mozogtak. Habár a Cellule/Aviron 75:50 társítás csupán a második legjobb eredményt érte el a gazdasági előny tekintetében (120 565 Ft), de ez volt az egyetlen kombináció, ahol a borsó nagyobb agresszivitást és versenyképességet mutatott a búzánál. A második évben a legmagasabb MAI értékeket kaptam a vizsgált kísérleti évek közül, amely egyaránt tulajdonítható a magasabb kereskedelmi ár, illetve a magasabb LERw értékeknek. A részleges LER eredmények a búza irányába tolódtak el, miközben a borsóra vonatkozó LERp értékekben kisebb mértékű csökkenés volt megfigyelhető. A jelenség oka a tiszta vetésű és a társított borsó parcellák értékei között

fennálló jelentős különbségben keresendő, ebben a tenyészidőszakban az önálló vetés jóval magasabb terméshozamot ért el a társításhoz képest. A legjövödelmezőbb társítás messzemenően a már korábban említett Cellule/Aviron 75:50 vetésarányú keveréke volt (191 987 Ft). Azonban ebben a kísérleti évben már a búza volt agresszívabb a borsóval szemben, és az AYLw tekintetében termésnyereség lépett fel. Következésképp az IAw érték is sokkal magasabb volt. Ezek a tények állhattak annak háttérében, hogy ugyanaz a keverék két különböző eredményt ért el az egymást követő kísérleti években. A búzafajta hatással bírt a MAI értékekre, amelyet a második kísérleti évben statisztikailag is igazolni tudtam a két GK fajta és a Cellule között a 75:75 vetésarány mellett, valamint a GK Csillag és a Cellule között 50:75 és 50:100 vetésarány esetében, a Cellule javára. Ezzel szemben a harmadik kísérleti év többnyire negatív értékeket, tehát erős gazdasági hátrányt mutatott. A legelőnytelenebb társítás a GK Szilárd/Aviron 75:75 vetésarányú keveréke volt -102 869 Ft MAI értékkel. Az egyes parcellák gazdasági előnye mindössze 4 esetben volt jövödelmező: a GK Szilárd/Aviron 50:50, a Cellule/Aviron 50:75, és a GK Csillag/Aviron 50:50, valamint az 50:75 vetésarányú keverékeknél. Mind a 4 társításban a búza a legkisebb vetésarányban volt jelen, ami az agresszivitás növekedését vonta maga után a búza részéről, emellett a borsó vetésarány növekedése annak versenyképességet fokozta a búzával szemben. A növénytársítás egy komplex rendszert alkot, a végső hozam kialakulásában számos tényező játszik szerepet. Eképpen a harmadik évi jelentős gazdasági hátránya egyaránt tulajdonítható a társnövények között fennálló fokozott versengésnek, és a környezeti tényezők változásainak. A gazdasági előny index (MAI) eredményeit a 2. Melléklet 1-3. táblázataiban foglaltam össze.

7.2.2.2. Növénytársítási előny index (IA)

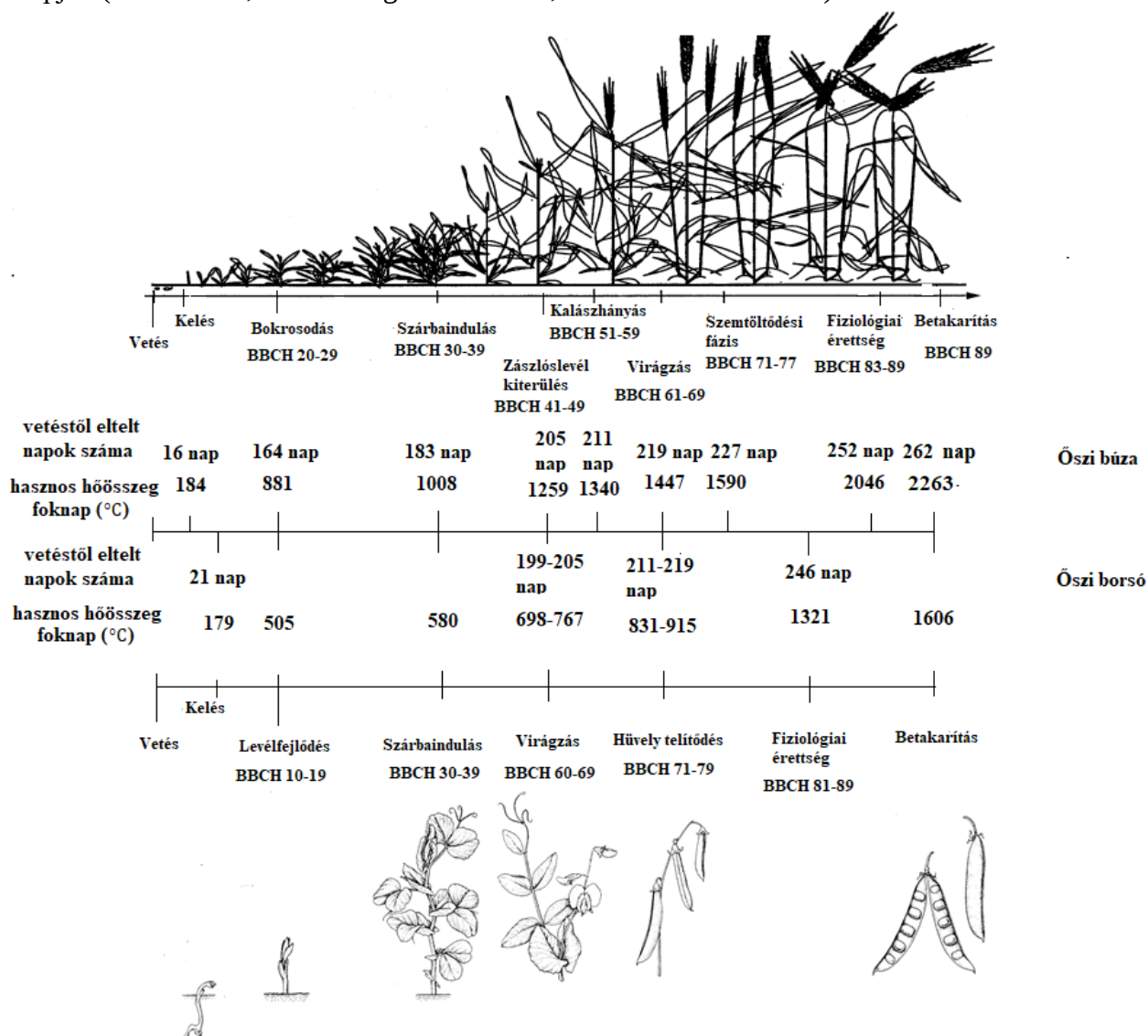
A növénytársítás előny indexének esetében az látható, hogy a búza-borsó keverék összetétel inkább a búza számára volt kedvező, viszont a növénytársítás teljesítményét végső soron a borsó határozta meg. A növénytársítás előnye a kereskedelmi érték (Pw/Pp) és a teljes termésveszteség (AYL) szorzata. Eképpen az IA index függetlenül a kereskedelmi értékektől a teljes termésveszteség negatív értékeiből fakadóan annak mintáját követte. Az első kísérleti évben a keverékvetés csak a búza oldaláról volt előnyös a GK Csillag fajta 8 keverékének tekintetében (kivéve a GK Csillag/Aviron 50:100 kombinációt). A borsó oldaláról viszont egyik keverék sem volt előnyösnek mondható, így a társítás egészében nem lehetett hatékony. Ebben a kísérleti évben egyik faktor esetében sem tudtam statisztikai eltérést kimutatni. A második kísérleti évben az előzőhöz hasonlóan a búza előnye figyelhető meg, de más fajták kaptak nagyobb hangsúlyt. Összesen 6 alkalommal volt előnyös az IAw index: a GK Szilárd/Aviron 50:50, 50:100, 100:50 és a Cellule/Aviron 75:50, 75:75, 100:50 vetésarányú keverékeiben. Az Ap index azonban minden keverék esetében negatív értéket vett fel, így a társítás egésze is előnytelennek bizonyult. Statisztikai eltérést csupán a búzafajta tekintetében sikerült igazolnom a Cellule és a GK Csillag között a 75:75 vetésarány mellett, ahol a Cellule fajta előnyösebb választás volt a GK Csillaggal szemben. A harmadik kísérleti év egyértelműen egyik társnövény számára sem volt ideális a jelentős termésveszteségből kifolyólag. Az Aw és az Ap indexek is negatív értéket mutattak, a társítás teljesítménye eképpen negatív maradt. A vizsgált faktorok egyike sem volt szignifikáns ebben az utolsó kísérleti évben. Az növénytársítási előny index (IA) eredményeit a 2. Melléklet 4-6. táblázata tartalmazza.

7.3 Fenológiai megfigyelések

7.3.1 A társnövények fejlődésmenete és a hasznos hőösszeg meghatározása

Kísérletemben a növénytársítás alap típusai közül a keverékvetést alkalmaztam, ahol az őszi búza és őszi borsó tiszta vetéséhez képest három különböző vetéssűrűségű magkeverék került kialakításra. Ez a típus esetében a vetés, a növényápolás és a betakarítás is egy időben történik. A dolgozatom egyik célja a társnövények fejlődésmenetének felmérése, és leírása volt. A három vizsgált tenyészidőszak bonitálási jegyzőkönyve alapján felállítottam az őszi búza és borsó

fejlődésmenetét (64. ábra), majd a megfelelő BBCH kóddal láttam el a hivatalos határozókulcs alapján (Meier 2001, Witzenberger et al. 1989, Lancashire et al. 1991).



64. ábra: Őszi búza és őszi borsó fejlődési fázisai kiegészítve a vetéstől eltelt napok számával és a hasznos hőösszeg értékeivel (foknap °C) mindkét fajra vonatkozóan keveréketés esetén

A 64. ábrán jól látható, hogy a két növény kelése egymáshoz képest néhány nap eltolódással történt: a búza csírázása minden esetben megelőzte a borsóét, majd a későbbiekben a növekedés egészen a szárbaindulásig egymással párhuzamosan haladt. Ezt követően a borsó hamarabb lépett a generatív szakaszba, miközben a búza a zászlóslével kiterülés fázisában volt. Majd a hüvelytelítődés idejére a búza is virágzásnak indult. Végül a fiziológiai érettség állapotát a borsó körülbelül egy másfél-két héttel korábban érte el a búzánál, és értelemszerűen az aratás idejére a túlérlettség fázisába lépett. A tenyészidőszakok között a fejlődésmenet mintázatában nem volt eltérés, a két társnövény fejlődési üteme közel azonos volt a változó környezeti feltételek ellenére is. A búzafajták közül a GK Csillag fejlődése többnyire egy lépéssel előrébb járt a másik két fajtával szemben, de ez nem feltétlenül jelentett váltást a fejlődési fázisok között. A kísérleti évek közül a 2021/2022-es évre volt jellemző, hogy az őszi borsó virágzása kevesebb napig tartott az előző évhez képest, és a generatív fázis is hamarabb lezárult feltehetően az erősen aszályos időjárásnak köszönhetően. Ebben az évben az őszi búza tekintetében is a tenyészidőszak lerövidülésnek lehettünk tanúi, az igen magas hőmérséklet és a csapadékhiány kényszerérést eredményezett, és mind a borsó, mind a búzatövek alulról induló felsülése következett be.

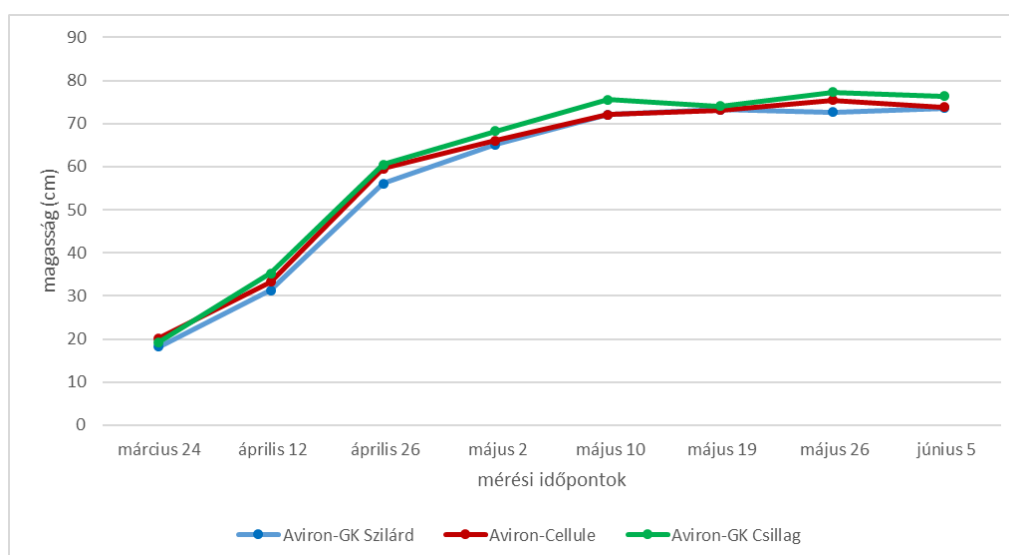
Kiss (1980) szerint az egyes borsófajták különböző hőmennyiséget igényelnek a különböző fejlődési szakaszaik idején, az egyes fejlődési fázisokban számított hőösszeg fajtajellemző, és a kisebb ingadozások mellett is stabilnak tekinthető. Ebből kifolyólag a fejlődésmenet ábrán az egyes fázisokhoz tartozó hőösszeget is feltüntettem mindkét társnövényre vonatkozóan (64. ábra), továbbá táblázatba foglaltam az egyes tenyészidőszakok hosszát, a borsóvirágzás, illetve az összes hasznos hőösszeg értékeit (17. táblázat). A tenyészidőszak hosszát a búza hosszabb fejlődési idejéből adódóan annak érettségi foka határozta meg, amely elég tág határok között mozgott. A leghosszabb tenyészidőszakot a harmadik évben mértem, ehhez mérten a borsó virágzása a legkorábban indult el és a legtöbb napig tartott. A legrövidebb virágzási időt a második tenyészidőszak alatt tapasztaltam. A hasznos hőösszeg szempontjából szintén a legkisebb értékeket a második kísérleti év adta, és a harmadik évben érte el a legmagasabb hőösszeget.

17. táblázat. A három kísérleti év megfigyelései a tenyészidőszak hosszára, a társnövények virágzására és hasznos hőösszegére vonatkozóan

Vizsgált tenyészidőszak	tenyészidőszak hossza (nap/év)	őszi borsó virágzás ideje	őszi borsó virágzás hossza (nap)	Őszi borsó hasznos hőösszege (°fok nap)	Őszi búza hasznos hőösszege (°fok nap)
2020/2021	254	2021.05.04	23	1338	1926
2021/2022	247	2022.05.02	15	1289	1836
2022/2023	262	2023.04.17	24	1606	2263

7.3.2 A magasság alakulása növénytársításban

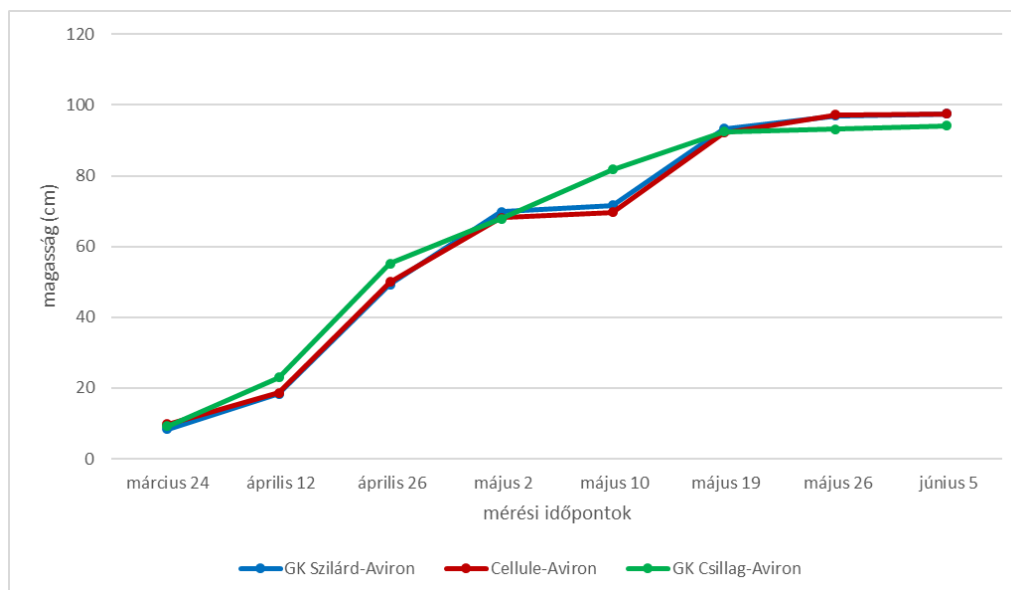
A társnövények fokozatos növekedése, illetve az egyes fejlődési fázisokban elért magassága meghatározó a beeső fény hasznosítása és a fotoszintézis mértékének szempontjából. A harmadik tenyészidőszakban mindkét társnövényre vonatkozóan végeztem magasság méréseket lefedve a fejlődésmenet jelentős részét. A kísérletben alkalmazott őszi borsófajta, az Aviron minden búzafajta esetében közel azonos magasságot ért el. Ez arra utal, hogy a borsónak a búzával való kombinációja esetében egyfajta állandó mintázat jön létre függetlenül attól, hogy milyen búzafajtával kerül társításba. A társított borsó fejlődésmenetének alakulását láthatjuk a 65. ábrán.



65. ábra: Az Aviron borsófajta magassága búza társítás esetén

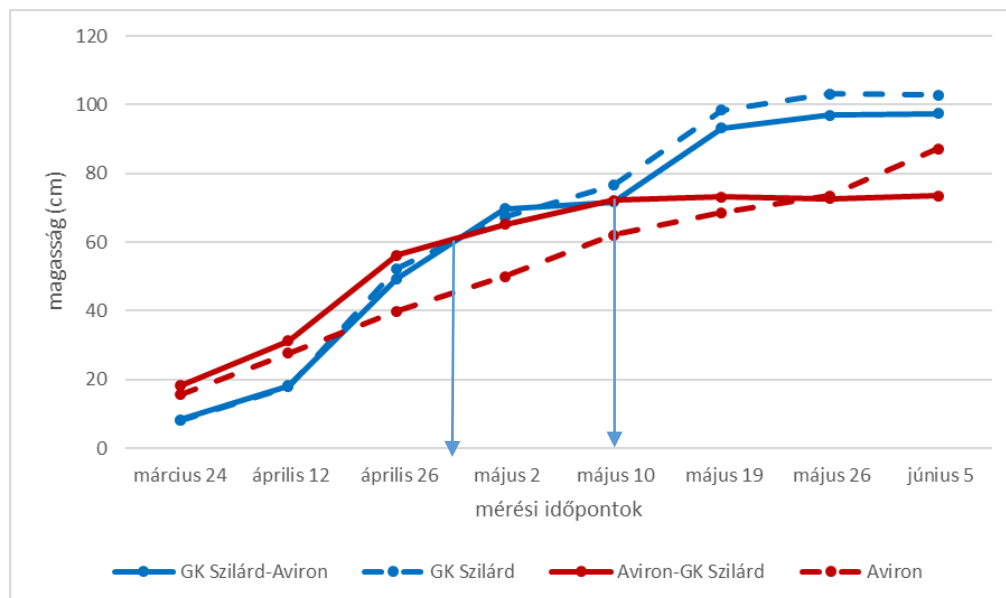
Ugyanez a jelenség a búza szemszögéből már nem mutatott egységes képet: míg a GK Szilárd és a Cellule magassága szinte tökéletesen követte egymást az egyes fejlődési fázisokban, addig a GK Csillag két mérési időpontban is felülmúlta a másik két fajtát (április 26. és május 10.). Ebben az időben a búza a szárbaindulás, illetve a kalászhányás fázisában volt, a borsó pedig teljes

virágzásban, valamint a hüvelytelítődés szakaszában járt. A GK Csillag korai-középérésű búzafajta, azonban a fejlődésmenet, illetve a magasság vizsgálat rámutatott arra, hogy növénytársításban a koraiság nemcsak az érési időszakban mutatkozott meg. Az őszi búza magasságának változásait a 66. ábrán követhetjük nyomon.



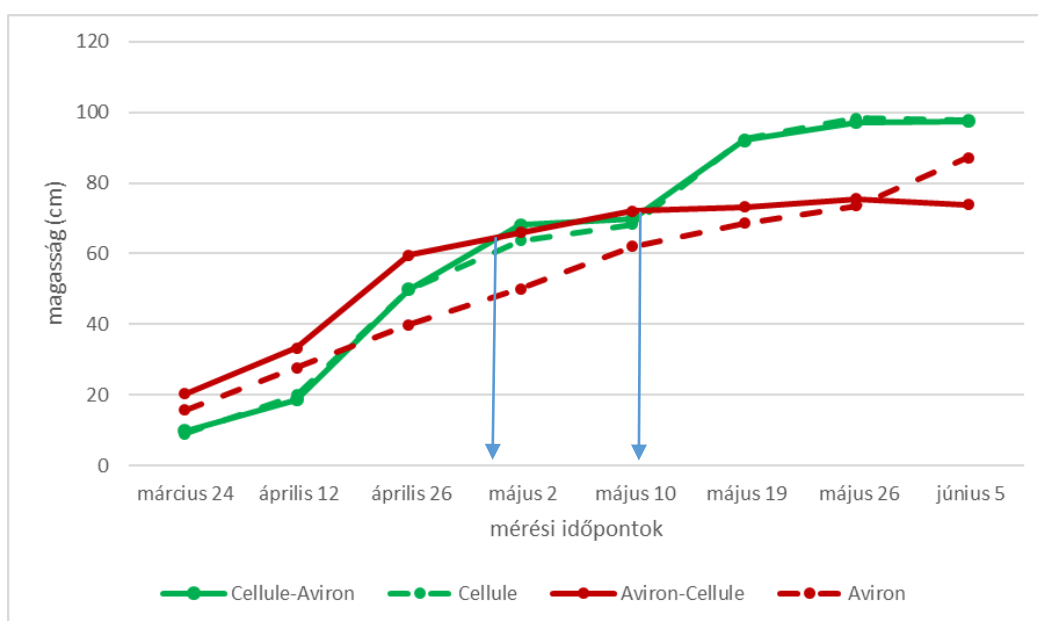
66. ábra: Az őszi búza magasságának alakulása borsóval való társításban

Markáns eltérés volt megfigyelhető a borsó magasságában a tiszta vetés és a növénytársítás között, míg ugyanez a búza esetében egyedül a GK Szilárdnál volt látható, ahol önálló vetésben magasabb volt az állomány a kalászhányás fázisától kezdve a betakarításig. Egy ábrán feltüntetve a két társnövény folyamatos növekedését a GK Szilárd esetében (67. ábra), azt láthatjuk, hogy a borsó magassága egészen az utolsó előtti mérésig (május 26.) meghaladta a tiszta vetés magasságát. Ebben a mérési időpontban a borsó a hüvelytelítődési fázis végén tartott, ami arra enged következtetni, hogy a növénytársítás, és az ebből fakadó esetleges versengés folyamatos növekedésre készítette a borsót. A GK Szilárd és az Aviron növekedési ábráján két metszési pont található, amikor felcserélődött a két növény magassága. Ez egyfelől bizonyíték arra, hogy a búza dominanciája a nagyobb versenyképesség dacára sem állandó érvényű, a két társnövény hierarchiája a magasság szempontjából folyamatosan váltja egymást. Másfelől a búza a fejlődésmenet egy pontján átveszi a vezetést a borsó felett, de ez nem történik meg egészen a már említett metszéspontokig, ami április végére, illetve május 10-re tehető. Az első időpontban a borsó a virágzási fázis végén tart, ami egybeesik a nitrogéngyűjtő baktériumok fokozatos elhalásával, és a nitrogén megkötés csökkenő mértékével. A búza ekkor a szárbaindulás szakaszában jár. A második időpontban a borsó a hüvelytelítődés szakaszának végét éri el, a búza a kalászhányás fázisában van. A borsó nitrogénszolgáltató szerepe ekkor ér véget, a tápanyagáramlás pedig megindul a reprodukzív szervek felé.



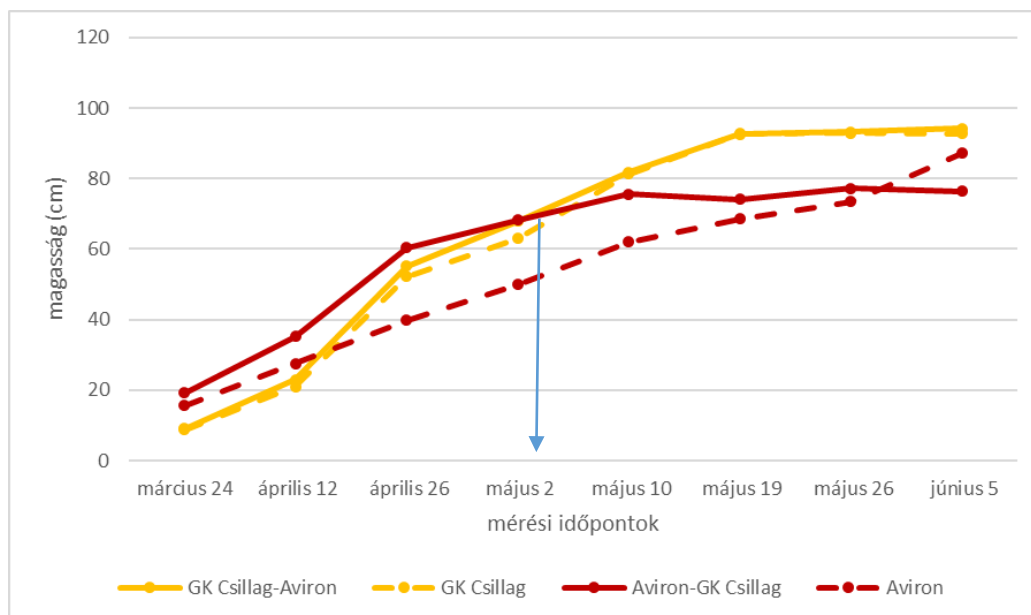
67. ábra. GK Szilárd és Aviron magasságának változásai növénytársításban és tiszta vetésben (a folytonos vonalak a társításokat, a szaggatott vonalak a tiszta vetést jelentik, nyilakkal jelöltem a magasságbeli váltást a társnövények között).

A Cellule és az Aviron magasság ábráján látható, hogy ebben a keverékben nincs lényegi eltérés a társított, illetve tiszta vetésű őszi búza magassága között. Tehát a növénytársítás kevésbé befolyásolta a Cellule magasságát a fejlődés menet során. Ez nem mondható el a borsó részéről, ahol a magasság lényegesen másként alakult társításban, mint önálló vetésben. Egészen a május 26.-i mérésig társításban a borsó folyamatos növekedése figyelhető meg a generatív fejlődési szakasz kezdete után is (ez április vége). A Cellule-Aviron keverék magasság változásait tekintve két metszési pont van, amely között a két társnövény szinte egyszerre növekszik. Az első időpont a május 2.-i mérés, amikor a borsó a virágzás végén tart, ekkor jelennek meg az első hüvelykezdemények. A búza a szárbaindulás végét éri el, a zászlóslevél néhol kezd láthatóvá válni. A második időpont a május 10.-i mérés, ekkor a borsóhüvely telítődés szakasza befejeződik, a búza a kalászhányás fázisában lép. Minimális időbeli késés figyelhető meg a magasság váltás első időpontja szempontjából ennél az őszi búzafajtánál a GK Szilárdhoz képest. Lényegében nincs magasságbeli váltakozás a két metszéspont között a társnövények részéről, a Cellule csak a második időpont után növi túl a borsót (68. ábra).



68. ábra. A Cellule és az Aviron magasságának alakulása növénytársításban és tiszta vetésben (a folytonos vonalak a keveréket, a szaggatott vonalak a tiszta vetést jelentik, nyilakkal jelöltem a magasság váltást a társnövények között).

A GK Csillag-Aviron kombináció esetében is megállapítható, hogy nincs számottevő eltérés az őszi búza magassága között társításban és önálló vetésben. Az őszi borsó magasság mintázata megegyezik az előző két társításban leírtakkal annyi eltéréssel, hogy tiszta vetésben némileg később ér el nagyobb magasságot a növény a keverék parcellákban mért értékekhez képest (május 26. után). A két társnövény növekedésében egy metszéspont található, ennek ideje a borsóvirágzás végének felel meg, és egyben a búza szárbaindulásának befejezését jelöli. Ez az időpont után a búza magassága meredeken növekedni kezd, a borsó pedig közel egy szinten marad. Ezeket a magasság változásokat a 69. ábra szemlélteti.



69. ábra. GK Csillag és Aviron magasság mintázata növénytársításban és önálló vetésben (a folytonos vonalak a növénykombinációt, a szaggatott vonalak a tiszta vetést jelentik, egy nyíllal jelöltem a magasság változást a társnövények között)

7.4 Az őszi búza termésmennyiség és minőségének alakulása növénytársításban

7.4.1 Őszi búza termésmennyiségének vizsgálata

A MANOVA a három faktorból kettőnél volt szignifikáns, a fajta és a Zwi esetében (Wilk's lambda értékek 0,82 a fajta, 0,77 a Zwi esetében, $p < 0,001$ mellett). Az évjáráthatás is szignifikáns volt (Wilk's lambda=0,34, $p < 0,001$). A másod- és harmadrendű faktoriális interakció csak a fajta*évjárat (Wilk's lambda=0,65, $p < 0,001$), fajta*Zwi (Wilk's lambda=0,74, $p < 0,001$) és a fajta*évjárat*Zwi tekintetében volt szignifikáns (Wilk's lambda=0,56, $p < 0,001$).

Az ezt követő háromtényezős véletlen blokk elrendezésű egyváltozós ANOVA tesztek a Zwi, Zpi és évjáráthatás esetében mutattak ki szignifikáns eltérést (18. táblázat).

18 táblázat: Háromtényezős véletlen blokk elrendezésű egyváltozós ANOVA teszt eredménye kiemelve a faktorok: a búzafajta, a búzaarány (Zwi), a borsóarány (Zpi), valamint az év hatását az őszi búza termésmennyiségére (F értékek 2,240 szabadságfok mellett)

Őszi búza	faktorok			
	Fajta	Zwi	Zpi	Év
Termésmennyiség	2,85 ^{ns}	3,87*	6,81*	92,58***

szignifikáns a következő szinten: * $p < 0,05$, *** $p < 0,001$, ns: nem szignifikáns

Az őszi búza termésmennyiségének tekintetében az egyes kísérleti évek egymástól eltérő eredménnyel szolgáltak. Az első két évben a társított búza mennyisége több esetben is meghaladta a tiszta vetés értékét. Búza terméstöbbség a 2020/2021-es tenyészidőszakban a keverékek közül egyedül a GK Csillaggal való társításból jelentkezett (a kivétel a GK Csillag/Aviron 50: 100 arányú keveréke volt). A legnagyobb különbség ennek a társításnak pont az ellenkező arányú keverékénél teljesült a GK Csillag/Aviron 100:50 vetéssűrűsége mellett (tiszta vetés értéke+24%). A 2021/2022-es tenyészidőszakban is voltak keverékek, amelyek felülmúlták az önálló vetés szintjét, de ezek többnyire a másik két búzafajta esetében fordultak elő. A 100%-ot meghaladó társítások a következők voltak: GK Szilárd/Aviron 50:50, 50:100, 100:50, valamint a Cellule/Aviron 75:100 és 100:50 vetéssűrűségben. A Cellule/Aviron 75:75 és a GK Csillag/Aviron 50:50 arányú társításának termésmennyisége megegyezett a monokultúrában termesztett búza értékével. A legnagyobb terméstöbbség a már említett GK Szilárd/Aviron 50:50 arányú keveréke esetében valósult meg (+13%). A búza termésmennyiségét tehát az erős aszály nem érintette olyan nagy súllyal, feltehetően azért, mert a száraz és csapadékban szegény időszak nem a búza kritikus fázisában jelentkezett. Ezzel szemben a harmadik tenyészidőszak (2022/2023) jelentős visszaesést mutatott a búzatermésben. A termés értékek rendkívül alacsonyak voltak (64-85% közé estek az önálló vetésű búzához mérten). Ehhez feltehetően hozzájárult a búza kulcsfázisaiban szakaszosan újra jelentkező csapadékhiány. Szignifikáns eltérés egyik faktor esetében sem volt igazolható a kísérleti években. A búza termésmennyiségének a tiszta vetéshez mért értékeit a 3. Melléklet 1-3. táblázataiban foglaltam össze.

7.4.2 Őszi búza termésminőségének vizsgálata

A háromtényezős véletlen blokk elrendezésű egyváltozós ANOVA tesztek a következő esetben mutattak ki szignifikáns eltérést (19. táblázat):

- évjáráthatás az összes minőségi mutató tekintetében
- fajthatás és Zwi hatás a siker esetében

19. táblázat: Háromtényezős véletlen blokk elrendezésű egyváltozós ANOVA teszt eredménye kiemelve a faktorok: a búzafajta, a búzaarány (Zwi), a borsóarány (Zpi), valamint az év hatását az őszi búza termésminőségére (F értékek 2,240 szabadságfok mellett)

Őszi búza	faktorok			
	Fajta	Zwi	Zpi	Év
Fehérjetartalom	2,99 ^{ns}	2,2 ^{ns}	1,59 ^{ns}	56,92 ^{***}
Siker	7,14 ^{***}	10,69 ^{***}	1,34 ^{ns}	50,07 ^{***}
Zeleny érték	2,62 ^{ns}	2,57 ^{ns}	1,49 ^{ns}	64,83 ^{***}
W-érték	1,96 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,52 ^{ns}	28,16 ^{***}

szignifikáns a következő szinten: *** $p < 0,001$, ns: nem szignifikáns.

7.4.2.1 A fehérjetartalom értékei

Az őszi búza fehérjetartalma az első tenyészidőszakban (2020/2021) a tiszta vetésű parcellák értékei közelében jártak, de csupán a Cellule/Aviron 50:100 és 75:50 vetéssűrűségű társításai haladták meg összesen 1-1%-kal. A második tenyészidőszakban (2021/2022) már több esetben is magasabb fehérjetartalmat mértem a GK Szilárd/Aviron 50:50, 50:75, 50:100, 75:75, 75:100 vetéssűrűsége mellett, valamint a GK Csillag/Aviron 50:50, 50:75 és 75:100 keverék esetén. A tiszta búza értékeivel azonos fehérjetartalom volt jellemző a Cellule/Aviron 75:100, illetve a GK Csillag/Aviron 50:100, 75:75 és 100:100 arányú kombinációiban. A legmagasabb fehérje érték

5%-kal túlta felül a monokultúrában termesztett búza értékét (GK Szilárd/Aviron 50:75, 50:100 társítása esetén). A harmadik tenyészidőszakban (2022/2023) a kísérlet valamennyi társítása magasabb fehérjetartalommal bírt, mint tiszta vetésben. A fehérje többlet legnagyobb értéke +11% volt a Cellule/Aviron 50:100 vetéssűrűsége mellett. Szignifikáns eltérés egyik faktor esetében sem volt kimutatható a kísérleti években. Az őszi búza fehérjetartalom értékeit a tiszta vetéshez képest a 4. Melléklet 1-3. táblázataiban láthatjuk.

7.4.2.2 A sikértartalom értékei

A sikértartalom az első kísérleti évben összesen 4 alkalommal túlta felül a tiszta vetésű búza értékeit, ezek a Cellule/Aviron 50:100, 75:50, valamint a GK Csillag/Aviron 50:50, 50:75 keverékei voltak. Ez utóbbi társítás egyben a legmagasabb sikértartalmat érte el ebben az évben (tiszta vetés+3%). Szignifikáns eltérést a fajta tekintetében sikerült kimutatni, a két GK búzafajta között, a GK Csillag javára. A második évben 5 társítás mutatott magasabb sikértartalmat a kontroll búza parcellához képest a GK Szilárd/Aviron 50:100, a Cellule/Aviron 50:50, 50:75 és a GK Csillag 50:50, 50:75 vetéssűrűsége esetén. A két Cellule társítás egyben a legmagasabb sikértartalmat érte el (tiszta vetés+15%, illetve 13%). Szignifikáns különbség ebben az évben is a búzafajták között állt fenn, de ebben az esetben a Cellule túlta felül a GK Szilárd fajtát. A harmadik kísérleti év hasonlóan a fehérjéhez, a sikértartalom tekintetében is a legjobb évet nyújtotta: 6 társítás kivételével a legmagasabb értékeket mértem, ahol a GK Csillag/Aviron 50:75 vetéssűrűségű társítás 39%-kal túlta felül a tiszta vetésű búza parcella értékét, ugyanakkor ugyanez a fajtakombináció 50:50 vetéssűrűségben is 35%-ot ért el. Nem meglepően szignifikáns eltérés is az előbb említett két vetéssűrűség esetében a GK Csillag és a másik két búzafajta között állt fenn, a GK Csillag javára. A sikértartalom értékeit a tiszta vetésű búzához képest a 20-22. táblázat mutatja be.

20. táblázat: Őszi búza sikértartalmának átlaga és szórása a tiszta vetéshez (100%) képest 2021-ben GK Szilárd, Cellule és GK Csillag őszi búzafajta, valamint Aviron őszi borsó keverékvetése esetén különböző vetésarányok mellett

búza siker 2021		Borsó vetésarány (Zpi)		
		50	75	100
Búza/Borsófajta	Búza vetésarány (Zwi)	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás
Cellule /Aviron	50	94,91 ± 4,50	97,96 ± 8,57 ^{ab}	101,09 ± 5,56
	75	100,62 ± 7,59	96,90 ± 3,34	98,06 ± 2,90
	100	94,68 ± 3,17	91,66 ± 7,95	93,13 ± 5,75
GK Csillag/Aviron	50	101,85 ± 14,48	103,50 ± 10,41 ^b	94,94 ± 8,12
	75	94,81 ± 4,43	94,17 ± 2,88	98,05 ± 3,01
	100	95,93 ± 4,73	95,12 ± 7,03	97,35 ± 12,50
GK Szilárd/Aviron	50	88,87 ± 10,05	86,17 ± 4,34 ^a	89,18 ± 5,61
	75	88,97 ± 10,85	95,69 ± 18,70	91,98 ± 9,47
	100	86,01 ± 8,93	90,87 ± 7,26	92,61 ± 10,68

A szignifikánsan eltérő csoportokat kisbetűvel és a szürke árnyalatával jelöltem az oszlopokon belüli cellákban a búzafajta vizsgálatok rögzített Zwi és rögzített Zpi értékek mellett (Games-Howell teszt $p < 0.05$). A Zwi és Zpi hatás nem volt szignifikáns 2021-ben ($p > 0.05$).

21. táblázat: Őszi búza sikértartalmának átlaga és szórása a tiszta vetéshez (100%) képest 2022-ben GK Szilárd, Cellule és GK Csillag őszi búzafajta, valamint Aviron őszi borsó keverékvetése esetén különböző vetésarányok mellett

búza siker 2022		Borsó vetésarány (Zpi)		
		50	75	100
Búza/Borsófajta	Búza vetésarány (Zwi)	Átlag $\pm$ Szórás	Átlag $\pm$ Szórás	Átlag $\pm$ Szórás
Cellule /Aviron	50	115,24 $\pm$ 6,73b	113,02 $\pm$ 13,54	94,97 $\pm$ 13,87
	75	87,57 $\pm$ 14,96	89,72 $\pm$ 13,62	95,20 $\pm$ 9,80
	100	87,44 $\pm$ 16,22	87,30 $\pm$ 14,92	92,81 $\pm$ 12,43
GK Csillag/Aviron	50	107,45 $\pm$ 12,31ab	106,72 $\pm$ 8,46	97,43 $\pm$ 2,32
	75	90,11 $\pm$ 8,06	91,30 $\pm$ 7,48	97,92 $\pm$ 11,44
	100	91,56 $\pm$ 11,52	94,95 $\pm$ 12,76	95,49 $\pm$ 7,37
GK Szilárd/Aviron	50	88,88 $\pm$ 10,72a	95,93 $\pm$ 9,60	106,36 $\pm$ 18,32
	75	92,81 $\pm$ 12,17	93,81 $\pm$ 9,66	99,46 $\pm$ 9,19
	100	87,40 $\pm$ 6,94	88,19 $\pm$ 11,36	90,20 $\pm$ 7,97

A szignifikánsan eltérő csoportokat kisbetűvel és a szürke árnyalatával jelöltem az oszlopokon belüli cellákban a búzafajta vizsgálatok rögzített Zwi és rögzített Zpi értékek mellett (Games-Howell teszt $p < 0,05$). A Zwi és Zpi hatás nem volt szignifikáns 2022-ben ($p > 0,05$).

22. táblázat: Őszi búza sikértartalmának átlaga és szórása a tiszta vetéshez (100%) képest 2022-ben GK Szilárd, Cellule és GK Csillag őszi búzafajta, valamint Aviron őszi borsó keverékvetése esetén különböző vetésarányok mellett

búza siker 2023		Borsó vetésarány (Zpi)		
		50	75	100
Búza/Borsófajta	Búza vetésarány (Zwi)	Átlag $\pm$ Szórás	Átlag $\pm$ Szórás	Átlag $\pm$ Szórás
Cellule /Aviron	50	94,47 $\pm$ 10,10a	98,45 $\pm$ 10,84a	114,04 $\pm$ 14,65
	75	107,60 $\pm$ 12,79	107,85 $\pm$ 15,80	113,84 $\pm$ 12,87
	100	115,17 $\pm$ 19,79	111,95 $\pm$ 12,06	115,88 $\pm$ 16,31
GK Csillag/Aviron	50	134,96 $\pm$ 14,67b	139,43 $\pm$ 12,82b	108,05 $\pm$ 4,81
	75	95,07 $\pm$ 18,57	103,62 $\pm$ 3,48	104,26 $\pm$ 9,30
	100	97,22 $\pm$ 13,25	104,48 $\pm$ 6,37	105,56 $\pm$ 4,19
	50	102,66 $\pm$ 5,49a	104,17 $\pm$ 11,75a	107,90 $\pm$ 17,10

GK Szilárd/Aviron	75	105,16 ± 17,14	109,16 ± 13,63	102,97 ± 4,42
	100	98,39 ± 8,19	105,32 ± 11,72	108,03 ± 11,25

A szignifikánsan eltérő csoportokat kisbetűvel és a szürke árnyalatával jelöltem az oszlopokon belüli cellákban a búzafajta vizsgálatokkor rögzített Zwi és rögzített Zpi értékek mellett (Games-Howell teszt $p < 0,05$). A Zwi és Zpi hatás nem volt szignifikáns 2023-ban ($p > 0,05$).

7.4.2.2 A Zeleny index

A Zeleny index esetében az első tenyésztidőszakban (2020/2021) a Cellule/Aviron 50:100 vetéssűrűségű társítás meghaladta a kontroll értékét (+2%), míg ugyanez a fajtakombináció 75:50 arányú keveréke éppen a tiszta vetéssel megegyező értéket mutatott. A második tenyésztidőszakban (2021/2022) a Zeleny indexet tekintve mindhárom búzafajta 50:50, 50:75, 50:100, illetve 75:100 arányú keveréke elérte, vagy pedig felülmúlta a tiszta vetések értékét, ezen felül a GK Szilárd 75:75, és a GK Csillag 75:50, 75:75 és 100:100 vetéssűrűsége mellett valósult meg ugyanez a jelenség. A maximális Zeleny érték a GK Szilárd/Aviron párosítás 50:100 arányú keveréke mellett valósult meg (tiszta vetés+10%). A harmadik tenyésztidőszakban (2022/2023) a GK Csillag/Aviron 100:50 vetéssűrűségű párosítás kivételével valamennyi társítás magasabb értéket képviselt a kontrollnál, a legmagasabb értéket a Cellule/Aviron 50:100 arányú társítása nyújtotta +19%-kal. Szignifikáns eltérést sem a búzafajta, sem a Zwi, sem a Zpi esetében nem sikerült kimutatni a kísérleti években. A Zeleny indexek tiszta vetéshez mért értékeit a 4. Melléklet 4-6. táblázata mutatja be.

7.4.2.3 A W-értékek vizsgálata

A W-értéket tekintve az első kísérleti évben csak a Cellule/Aviron 50:100 vetéssűrűségű társítása haladta meg a tiszta vetés értékét (+3%). Ugyanez a társítás esetében szignifikáns eltérés tudtam igazolni a búzafajtákat illetően a Cellule és a GK Szilárd között a Cellule javára. Ehhez képest a második kísérleti évben 100%-os, vagy azt meghaladó W-érték kizárólag a GK Szilárd mellett valósult meg: 4 esetben haladta meg a kontroll értékét az 50:50, 50:75, 50:100 és a 75:100 vetéssűrűség esetén, és a 75:50 és a 75:75 arányú keverék esetében volt azonos a kontroll szintjével. A legmagasabb W-értéket a GK Szilárd-Aviron 50:100 keveréke nyújtotta (tiszta vetés értéke+25%). A harmadik kísérleti évben a GK Csillag/Aviron 75:100 és 100:50 arányú keverékét kivéve mindegyik társítás magasabb W értékeket produkált, mint tiszta vetésben. Az utolsó két évben nem volt szignifikáns eltérés egyik vizsgált faktor tekintetében sem. A W érték eredményeit a tiszta vetéshez képest a 23-25. táblázatban foglaltam össze.

23. táblázat: Őszi búza W-értékeinek átlaga és szórása a tiszta vetéshez (100%) képest 2021-ben GK Szilárd, Cellule és GK Csillag őszi búzafajta, valamint Aviron őszi borsó keverékvetése esetén különböző vetésarányok mellett

búza W érték 2021		Borsó vetésarány (Zpi)		
		50	75	100
Búza/Borsófajta	Búza vetésarány (Zwi)	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás
Cellule /Aviron	50	88,29 ± 15,04	94,62 ± 22,56	102,89 ± 12,09b
	75	98,53 ± 11,91	94,14 ± 4,85	83,98 ± 20,94
	100	91,65 ± 7,68	85,86 ± 12,48	85,41 ± 6,04
	50	96,62 ± 19,56	95,46 ± 14,27	92,89 ± 16,81ab

GK Csillag/Aviron	75	87,89 ± 12,83	85,20 ± 11,18	95,22 ± 5,84
	100	92,29 ± 19,27	91,85 ± 21,92	92,66 ± 27,96
GK Szilárd/Aviron	50	76,86 ± 24,37	69,46 ± 13,08	75,95 ± 12,20a
	75	74,64 ± 15,19	90,93 ± 33,31	82,17 ± 19,52
	100	69,87 ± 15,65	82,18 ± 23,28	80,24 ± 24,26

A szignifikánsan eltérő csoportokat kisbetűvel és a szürke árnyalatával jelöltem az oszlopokon belüli cellákban a búzafajta vizsgálatok rögzített Zwi és rögzített Zpi értékek mellett (Games-Howell teszt $p < 0,05$). A Zwi és Zpi hatás nem volt szignifikáns 2021-ben ($p > 0,05$).

24. táblázat: Őszi búza W-értékeinek átlaga és szórása a tiszta vetéshez (100%) képest 2022-ben GK Szilárd, Cellule és GK Csillag őszi búzafajta, valamint Aviron őszi borsó keverékvetése esetén különböző vetésarányok mellett

búza W érték 2022		Borsó vetésarány (Zpi)		
		50	75	100
Búza/Borsófajta	Búza vetésarány (Zwi)	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás
Cellule /Aviron	50	94,13 ± 10,67	86,76 ± 24,74	96,06 ± 22,15
	75	87,83 ± 27,44	91,41 ± 26,20	80,29 ± 17,51
	100	84,00 ± 21,60	83,55 ± 34,54	86,20 ± 23,69
GK Csillag/Aviron	50	94,86 ± 15,19	86,79 ± 12,53	92,64 ± 6,40
	75	91,84 ± 20,34	91,78 ± 19,91	87,22 ± 22,87
	100	87,71 ± 18,08	90,19 ± 16,57	95,31 ± 11,89
GK Szilárd/Aviron	50	100,75 ± 63,82	117,13 ± 32,83	125,44 ± 39,23
	75	99,63 ± 9,69	99,75 ± 22,42	110,01 ± 12,87
	100	97,39 ± 16,35	89,59 ± 11,89	94,47 ± 29,71

A vizsgált faktorok egyike sem volt szignifikáns 2022-ben ($p > 0,05$).

25. táblázat: Őszi búza W-értékeinek átlaga és szórása a tiszta vetéshez (100%) képest 2023-ban GK Szilárd, Cellule és GK Csillag őszi búzafajta, valamint Aviron őszi borsó keverékvetése esetén különböző vetésarányok mellett

búza W érték 2023		Borsó vetésarány (Zpi)		
		50	75	100
Búza/Borsófajta	Búza vetésarány (Zwi)	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás
Cellule /Aviron	50	142,26 ± 42,06	149,04 ± 38,83	146,08 ± 74,81
	75	135,74 ± 40,43	133,82 ± 79,63	144,65 ± 52,66
	100	181,99 ± 118,10	161,19 ± 93,24	157,34 ± 72,97

GK Csillag/Aviron	50	108,57 ± 37,28	124,01 ± 27,61	117,52 ± 32,44
	75	119,81 ± 46,48	125,06 ± 31,19	99,55 ± 38,84
	100	84,74 ± 49,86	112,66 ± 20,36	120,47 ± 20,94
GK Szilárd/Aviron	50	106,39 ± 24,75	110,59 ± 31,69	118,07 ± 27,42
	75	106,70 ± 46,04	120,52 ± 11,71	102,46 ± 24,82
	100	105,93 ± 23,63	107,82 ± 16,96	129,02 ± 25,57

A vizsgált faktorok egyike sem volt szignifikáns 2023-ban ($p > 0,05$).

7.5 Őszi borsó termésmennyisége és minőségi paraméterei keverékvetés esetén

7.5.1 Az őszi borsó termésmennyiségének vizsgálata

A MANOVA mindhárom faktor esetében szignifikáns volt: a fajta (Wilk's lambda érték=0,71 $p < 0,001$ mellett), a Zwi esetében (Wilk's lambda érték=0,90 $p < 0,001$ mellett), és a Zpi esetében is (Wilk's lambda érték=0,94 $p < 0,05$ mellett). Emellett az évjárathatás is szignifikáns volt (Wilk's lambda=0,41, $p < 0,001$). A másod- és harmadrendű faktoriális interakció esetében a fajta* évjárát (Wilk's lambda=0,84, $p < 0,001$), és a Zpi*évjárát tekintetében volt szignifikáns eltérés (Wilk's lambda=0,89, $p < 0,001$).

Az ezt követő háromtenyezős véletlen blokk elrendezésű egyváltozós ANOVA tesztek a fajta, Zwi és az évjárathatás esetében mutattak ki szignifikáns eltérést (26. táblázat).

26. táblázat: Háromtenyezős véletlen blokk elrendezésű egyváltozós ANOVA teszt eredménye kiemelve a faktorok: a búzafajta, a búzaarány (Zwi), a borsóarány (Zpi), valamint az év hatását az őszi borsó termésmennyiségére (F értékek 2,240 szabadságfok mellett)

Őszi borsó	faktorok			
	Fajta	Zwi	Zpi	Év
Termésmennyiség	16,87***	25,79***	0,64 ^{ns}	31,76***

szignifikáns a következő szinten: *** $p < 0,001$, ns: nem szignifikáns.

Az őszi borsó termésmennyisége szempontjából mindhárom kísérleti évben a kevert parcellákból szelektált termés töredéke volt a tiszta vetés értékeinek. Ennek értelemben a borsó termesztése kedvezőbb volt önálló termesztésben, mint keverékvetésben. Az első tenyészidőszakban (2021/2022) a legmagasabb termést a Cellule/Aviron kombináció 75:50 vetéssűrűsége adta (kontroll-42%). Szignifikáns különbséget a fajta esetében tudtam igazolni a 75:50 vetéssűrűség mellett a Cellule és a két GK búzafajta között, valamint a 100:50 és 50:75 arányú keverék tekintetében a Cellule és GK Csillag fajta között. Mindhárom esetben a Cellule termésmennyisége volt magasabb. A második tenyészidőszakban (2021/2022) már csak az 50:75 arányú keverék Cellule és GK Csillag fajta között volt igazolható statisztikai eltérés a Cellule javára. Ebben az évben a legnagyobb termést a Cellule/Aviron 50:100 keverékénél mértem (kontroll-41%). A kísérleti évek borsótermése egyre romló tendenciát mutatott, ami a harmadik tenyészidőszakban érte el a legmélyebb pontját, ahol a legmagasabb termés értéke is 64%-kal volt alacsonyabb a tiszta vetésnél. Ebben az utolsó évben nem tudtam statisztikai eltérést kimutatni. A egyes borsó termésmennyiségek tiszta vetéshez mért értékeit a 27-29. táblázatban mutatom be.

27. táblázat: Őszi borsó termésmennyiségének átlaga és szórása a tiszta vetéshez (100%) képest 2021-ben GK Szilárd, Cellule és GK Csillag őszi búzafajta, valamint Aviron őszi borsó keverékvetése esetén különböző vetésarányok mellett

borsó termés 2021		Borsó vetésarány (Zpi)		
		50	75	100
Búza/Borsófajta	Búza vetésarány (Zwi)	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás
Cellule /Aviron	50	37,18 ± 7,96	35,38 ± 5,03b	53,87 ± 21,17
	75	57,92 ± 15,45b	22,99 ± 9,05	35,26 ± 21,45
	100	27,34 ± 6,82b	25,97 ± 7,08	43,62 ± 35,18
GK Csillag/Aviron	50	23,53 ± 5,81	20,51 ± 4,21a	31,15 ± 14,25
	75	18,97 ± 4,46a	20,04 ± 10,69	22,51 ± 5,10
	100	13,92 ± 3,74a	21,06 ± 5,99	23,87 ± 13,95
GK Szilárd/Aviron	50	40,38 ± 11,18	32,61 ± 9,74ab	48,90 ± 10,93
	75	32,62 ± 7,84a	27,97 ± 7,13	43,47 ± 18,42
	100	33,84 ± 18,05ab	22,24 ± 8,29	33,86 ± 11,70

A szignifikánsan eltérő csoportokat kisbetűvel és a szürke árnyalatával jelöltem az oszlopokon belüli cellákban a búzafajta vizsgálatok rögzített Zwi és rögzített Zpi értékek mellett (Games-Howell teszt $p < 0,05$). A Zwi és Zpi hatás nem volt szignifikáns 2021-ben ($p > 0,05$).

28. táblázat: Őszi borsó termésmennyiségének átlaga és szórása a tiszta vetéshez (100%) képest 2022-ben GK Szilárd, Cellule és GK Csillag őszi búzafajta, valamint Aviron őszi borsó keverékvetése esetén különböző vetésarányok mellett

borsó termés 2022		Borsó vetésarány (Zpi)		
		50	75	100
Búza/Borsófajta	Búza vetésarány (Zwi)	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás
Cellule /Aviron	50	58,19 ± 76,46	56,60 ± 28,67b	58,85 ± 43,69
	75	56,49 ± 49,79	42,76 ± 25,03	35,72 ± 24,34
	100	37,62 ± 36,54	29,50 ± 11,58	28,46 ± 13,39
GK Csillag/Aviron	50	22,86 ± 20,43	18,40 ± 4,7a	20,34 ± 3,88
	75	21,49 ± 8,19	19,54 ± 3,39	18,94 ± 2,70
	100	12,68 ± 9,72	11,48 ± 5,62	13,62 ± 8,63
GK Szilárd/Aviron	50	28,77 ± 12,28	31,79 ± 14,97ab	28,37 ± 7,38
	75	24,56 ± 7,33	19,64 ± 8,20	18,32 ± 7,29
	100	26,89 ± 26,29	22,65 ± 14,76	20,07 ± 11,59

A szignifikánsan eltérő csoportokat kisbetűvel és a szürke árnyalatával jelöltem az oszlopokon belüli cellákban a búzafajta vizsgálatok rögzített Zwi és rögzített Zpi értékek mellett (Games-Howell teszt $p < 0,05$). A Zwi és Zpi hatás nem volt szignifikáns 2022-ben ($p > 0,05$).

29. táblázat: Őszi borsó termésmennyiségének átlaga és szórása a tiszta vetéshez (100%) képest 2023-ban GK Szilárd, Cellule és GK Csillag őszi búzafajta, valamint Aviron őszi borsó keveréketése esetén különböző vetésarányok mellett

borsó termés 2023		Borsó vetésarány (Zpi)		
		50	75	100
Búza/Borsófajta	Búza vetésarány (Zwi)	Átlag $\pm$ Szórás	Átlag $\pm$ Szórás	Átlag $\pm$ Szórás
Cellule /Aviron	50	23,53 $\pm$ 5,82	30,18 $\pm$ 9,53	27,40 $\pm$ 13,81
	75	15,96 $\pm$ 5,76	18,99 $\pm$ 5,92	17,98 $\pm$ 5,96
	100	13,04 $\pm$ 4,96	12,68 $\pm$ 7,19	14,20 $\pm$ 6,16
GK Csillag/Aviron	50	35,84 $\pm$ 6,11	29,97 $\pm$ 10,71	26,11 $\pm$ 10,38
	75	15,10 $\pm$ 3,50	17,00 $\pm$ 3,72	17,97 $\pm$ 6,01
	100	12,88 $\pm$ 3,88	13,19 $\pm$ 6,25	14,31 $\pm$ 5,14
GK Szilárd/Aviron	50	24,66 $\pm$ 15,58	21,80 $\pm$ 14,79	21,75 $\pm$ 14,89
	75	17,41 $\pm$ 12,60	15,00 $\pm$ 11,09	13,69 $\pm$ 8,26
	100	11,10 $\pm$ 4,31	9,07 $\pm$ 7,70	11,16 $\pm$ 11,59

A vizsgált faktorok egyike sem volt szignifikáns 2023-ban ($p > 0,05$).

7.5.2 Az őszi borsó termésminőségének vizsgálata

A háromtényezős véletlen blokk elrendezésű egyváltozós ANOVA tesztek a fajta, Zpi és az évjáráthatás esetében mutattak ki szignifikáns eltérést (30. táblázat).

30. táblázat: Háromtényezős véletlen blokk elrendezésű egyváltozós ANOVA teszt eredménye kiemelve a faktorok: a búzafajta, a búzaarány (Zwi), a borsóarány (Zpi), valamint az év hatását az őszi borsó termésminőségére (F értékek 2,237 szabadságfok mellett)

Őszi borsó	faktorok			
	Fajta	Zwi	Zpi	Év
Fehérjetartalom	21,66***	2,33 ^{ns}	6,43**	135,23***

szignifikáns a következő szinten: ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$, ns: nem szignifikáns

Az őszi borsó fehérjetartalma meglepően magas értékeket mutatott kivétel nélkül minden kísérleti évben. Az első tenyésztési időszakban (2020/2021) a fehérje többlet 1 és 10% közötti értékeket vett fel, a legmagasabb fehérjetartalmat a Cellule/Aviron 75:75 arányú keveréke esetében mértem (tiszta vetés+10%). A második, a környezeti tényezők szempontjából kritikus tenyésztési időszakban (2021/2022) a fehérje értékek meghaladták az előző év eredményeit is: a GK Szilárd/Aviron 50:75 arányú társítása +17%-kal volt több a tiszta vetés értékénél. Mindamelllett a kontrollhoz képest +16%-ot kaptam a GK Szilárd/Aviron 75:75, 75:100, 100:75, a Cellule/Aviron 50:75, 100:75 és a GK Csillag/Aviron 100:75 vetéssűrűsége esetében is. Ebben az évben a

legalacsonyabb fehérjetartalom is +10%-kal haladta meg a tiszta borsóvetés értékeit. A harmadik tenyészidőszak (2022/2023) sem maradt el a két előző év eredményétől. Ebben az évben a legmagasabb fehérje értéket a Cellule/Aviron 75:50 és a 100:50 vetéssűrűségű keveréke egyformán szolgáltatta (tisztá vetés+15%), de kevéssel maradt el mögöttük az 50:50 arányú keverék (kontroll+14%). Szignifikáns eltérést egyik faktor tekintetében sem sikerült kimutatni a kísérleti években. A tiszta vetéshez mért fehérjetartalom értékeket az 5. Melléklet 1-3 táblázatában láthatjuk.

8. Következtetések

8.1 Sváb-féle kumulatív terméselemzés értékelése

Éghajlat előrejelzési forgatókönyvek a hőmérséklet fokozatos felmelegedését, valamint az éves csapadékmennyiség csökkenését és egyenetlen eloszlását jósolják az elkövetkezendő években (Jolánkai és Birkás 2007). A szélsőséges időjárási jelenségek gyakorisága egyre több kihívás elé állítja a termelőket, csakúgy, mint a műtrágyáktól való túlzott függés és az ingadozó piaci keresletnek való erős kitettség. A változó körülmények arra utalnak, hogy a jelenlegi profitorientált termesztési forma/szemlélet hosszútávon nehezen, vagy csak komolyabb ráfordítások árán tartható fenn. Ennek megfelelően a gabonatúlsúlyos vetésszerkezet átalakítása nemcsak gazdasági okokból lényeges kérdés, egyben a fokozódó környezettudatosság és a fenntarthatóság elvének megvalósulását szolgálja (Bedussac et al. 2015). A leszűkült vetésszerkezet a biológiai sokféleség csökkenését vonta maga után, ezáltal éppen a talaj termőképességét regeneráló hüvelyes növények kiestek a vetésforgóból (Crews és Peoples 2004). Mára a hüvelyes növények csekély vetésterületének növelése túlnyomó részt más, nagyobb terméspotenciállal rendelkező fajok visszaszorításával jöhetne létre, ennek következtében fokozott érdeklődés övezi az olyan alternatív termesztési módokat, mint a növénytársítás, amely egyszerre kínál megoldást a fent említett problémákra.

A növénytársítással kapcsolatos kutatások legtöbbször elsősorban a végső elért termés hozamra koncentrálnak, és kevésbé szentelnek figyelmet a társnövények fejlődésmenetének. Ugyanakkor a keverni kívánt fajok fejlődési fázisának ismerete jelentősen hozzájárulhat a társítás pontosabb összehangolásához és a hatékonyság növeléséhez. A hagyományos terméselemzés során a terméselemek változásait vizsgáljuk, amely alapján elsősorban egy kezelés szerepére következtethetünk a termés kialakulásában (Bocz 1992). A társnövények és a befolyásoló tényezők hatása – egy kezeléshez hasonlóan – a betakarított termésben is megmutatkozik, ám ebben az esetben a hatás idejét és mértékét szinte lehetetlen meghatározni. Ezzel szemben a Sváb-féle kumulatív terméselemzés az egyes fejlődési fázisokban mért terméselemek értékét fázisvégtérmeleknek tekinti (Sváb 1962), amelyből nemcsak a társnövények teljes fejlődésmenete, de az egymásra gyakorolt hatás ideje is leolvasható. Az első két kísérleti évben az őszi borsó terméselemeinek értéke az első két fejlődési fázis után meredeken csökkenni kezdett a tiszta vetésű borsóhoz képest. Ez a negatív irányú fejlődésmenet a GK Szilárd, a Cellule és a GK Csillag mellett is egyformán jelentkezett, ami arra enged következtetni, hogy ez a jelenség a választott búzafajtától függetlenül jött létre. A búza borsóval való társításában a borsó természetes nitrogénmegkötő képessége által kedvezőbb fény- és vízmegkötést ér el (Fujita et al. 1992, Jensen 1996a). Ugyanakkor a többlet nitrogén erőteljes búzanövekedést idéz elő, amely árnyékolást okozhat a borsó kultúrában és visszaszoríthatja annak fejlődését (Hauggaard-Nielsen és Jensen 2001). Ezt tapasztaltam a saját kísérletemben is: a borsó fejlődésmenet hanyatlása a generatív fejlődési fázisaiban kezdődött. A búza magassága és a nagy egyedsűrűség együttesen kevesebb megvilágítást hagyott a borsó számára. A leárnyékolásnak köszönhetően így a hüvelyszám, szemszám és szemtömeg terméselemei növénytársításban nem tudtak oly mértékben kifejlődni, mint önálló vetésben. Rauber et al. (2001) szerint kisebb megvilágítás mellett a borsószár szilárdsága és vastagsága is csökken. Ezt az állítást magam is megerősíthetem, az elvékonyodott magas borsószár különösen a GK Csillaggal való társításra volt jellemző, ahol a levélszintek közötti ízközök megnyúltak, és a virágzati szintek a növény felső egyharmadát foglalták el. A harmadik tenyészidőszakban (2022/2023) a borsó teljes fejlődésgörbéje a kezdetektől negatív lefutású volt, amelyet a vetés, illetve a kelés idején mért minimális csapadék okozhatott. Jiang et al. (2020) munkáiban kiemeli, hogy a borsó optimális fejlődéséhez a korai fejlődési fázisban egyenletes vízellátottság szükséges, ennek hiányában a kelés vontatott és egyenetlen lesz. A csapadékhiány eképpen az első kísérleti éveimhez képest is ritkább tőszámot idézett elő, ebből adódóan az erre épülő terméselemek értékei is alacsonyak maradtak.

A hüvelyes növények közül a borsó a legérzékenyebb az éghajlati adottságokra (Kismányoky 2005). Az őszi borsó vetésével a tenyészidőszak széthúzódik, amely korábbi virágzást és érést eredményez a tavaszi kultúrákkal szemben (Neugschwandtner et al. 2019, Bourion et al. 2003). A koraiságból kifolyólag az őszi borsófajták kevésbé kitettek az aszályos időszakoknak és kisebb mértékben függnek a vízellátottságtól a fejlődés kritikus időszakaiban (Naudin et al. 2009). Kísérletemben az első tenyészidőszak (2020/2021) mérsékelt meleg volt, ezzel szemben a második tenyészidőszakban (2021/2022) erős aszály jelentkezett, amely a borsó fejlődését is érintette. Keverékvetésben az aratás idejét a búza érési ideje határozza meg, a borsó ekkorra már mindenképp túllép a fiziológiai érettség határán, de 2022-ben a növény alulról száradásnak indult, a hüvelyek kinyíltak és a magok peregni kezdtek. Az észlelt tünetek a borsónövényen nagyon hasonlóak voltak a hőstresszel, illetve vízhiánnyal kapcsolatos megfigyelésekkel. A borsó virágzása szekvenciális: az alsó virágokat meghatározott sorban a fölötté álló virág követi. Ezáltal a virágzás, valamint a hüvelyképződés képet nyújt a borsó növény fejlődéséről (Jiang et al. 2019). Növénytársításban a második kísérleti évben a borsó felső virágzati szintjén lévő virágok fejletlenek maradtak, és a virágzás hossza, valamint a tenyészidőszak is lerövidült egy héttel. A vegetatív és szentöltődési szakasz felgyorsulását figyelte meg Poggio et al. (2005) és Sita et al. (2017) is, ahol a magas hőmérsékletnek való átmeneti, vagy tartós kitettség kényszerérést és érezhető hozamkiesést okozott. A borsó különösen érzékeny a magas hőmérsékletre, a hőstressz tünetei akkor jelentkeznek, ha a napi maximum hőmérséklet értéke meghaladja a 25°C-ot szabadföldön (Bueckert et al. 2015, Guilioni et al. 2003). A növény válasza szempontjából azonban nem mindegy, hogy a hőstressz a fejlődés menet mely szakaszában jelentkezik. 2021 és 2023-ban 30, illetve 31 ilyen összefüggő nap volt a tenyészidőszak során, de a forró napok a hüvelytelítődés fázisára estek. Ezzel szemben 2022-ben a 38 forró nap alatt folyamatosan meghaladta a maximum hőmérséklet a felső küszöbértéket, és a hőstressz a virágzás alatt érte a növényt. Bánya et al. (2014) szerint a növények alapvető hőtűrésüknek köszönhetően az optimális szint felett is képesek fejlődni, ebben segítségükre lehet a magas hőmérsékletre való fokozatos alkalmazkodás képessége. Feltételezhető, hogy az őszi borsó emiatt tudott termést hozni egy erősen aszályos évben is. Néhány szerző úgy véli, hogy a féllevélkés (afila) típusú borsó módosult kacsainak összekapaszkodása révén az nem érintkezik a felmelegedő talajjal, ami által a párologtatás mértéke is kisebb (Tafesse et al. 2019, Baigorri et al. 1990). Az őszi borsófajta, illetve a féllevélkés típus választása keverékvetésben mindenképp közre játszott a kedvezőtlen időjárási körülmények enyhítésében, ugyanakkor a borsó terméshozam a környezeti változók összetett kapcsolatának eredménye, amelyről még mindig kevés ismeret áll rendelkezésre.

A búza legkülönbözőbb ökológiai körülményekhez való magas alkalmazkodó képessége a legfontosabb növényvédelem szerte a világon. Azonban a szárazság és a magas hőmérséklet két olyan stresszfaktor, amely jelentősen befolyásolni tudja a termésképzést és gyakran bekövetkezik a búzavirágzás és szentelítődés idején (Balla et al. 2019). Emellett az utóbbi években észlelt téli tartós vízhiány a nyári aszályhoz hasonló hatást vált ki a növényben, amelyet a vegetációs időben később hullt csapadék sem tud ellensúlyozni (Gaál et al. 2014). A károsodás mértékét jelentősen befolyásolja a növény fejlettségi foka, a stresszhatás időtartama és erőssége. A búza kulcsfázisa hőmérséklet szempontjából nemcsak a vernalizáció idején jelentkezik, hanem a generatív szakasz során is (Bánya et al. 2014). Kalászoláskor és virágzáskor a magas hőmérséklet lerövidíti a fejlődési fázisokat, rontja a megtermékenyülést és kényszerérést idéz elő (Pepó 2022). Kísérletemben a második, kritikus évben a búza egy héttel korábban érett be az előző évhez képest, a betakarítás idejére a búzanövények – hasonlóan a borsóhoz – alulról száradni kezdtek. A kényszerérés mellett azonban a küszöbérték feletti forró napok jóval a virágzás után, már az érés fázisa alatt érték a növényt, és pontszerűen jelentkeztek. Innes és Blackwell (1981) foglalkozott a korai (virágzást megelőző) és kései (virágzást követő) aszály jelenségével. Ebben a tanulmányban a korai aszály jelének a szemszám csökkenését, a kisebb szentömeget a kései aszály hatásának tulajdonították. Ezzel szemben a Sváb-féle kumulatív elemzés során keverékvetésben a szemszám fejlődési fázisban tapasztaltam csökkenő értékeket, egyfajta törést a búza fejlődési görbéjében, amíg a szentömeg értékek újra magasak voltak. Balla et al. (2019) szerint a búzafajták között

nemcsak a termőképességükben, hanem a hőstresszre adott válaszában is különbség mutatkozik. Ez teljesült a Cellule búzafajta esetében, ahol az alacsony szemszám tünetei több esetben jelentkeztek, mint a másik két fajtánál. A kedvezőtlen környezeti hatások ellenére a búza termésvesztése nem volt olyan nagymértékű, mint ahogyan azt a borsónál tapasztaltam. Az egyes fejlődési fázisokban mért terméselemek értékei éppen a második tenyészidőszakban (2021/2022) haladták meg a legtöbb esetben a tiszta vetés szintjét. A legmagasabb szemtömeg értékeket a GK Szilárd 250 db/m²–Aviron 75 db/m² vetéssűrűsége mellett (tiszta vetés+24%), valamint a Cellule 500 db/m²–Aviron 50 db/m² (tiszta vetés+17%) és a GK Csillag 375 db/m²–Aviron 50 db/m² (tiszta vetés+19%) társítása esetén mértem. Mindez arra enged következtetni, hogy a növénytársítás a búza számára nagyobb védelemet biztosított a környezeti tényezők változásaival szemben, mint önálló vetésben. A harmadik kísérleti évben a GK Csillag 375 db/m² és az Aviron 50 db/m² keverékét kivéve valamennyi társítás sokkal kisebb értékeket mutatott a tiszta vetéshez képest. Szinte a teljes tenyészidőszakra a szárazabb és a csapadékos időszakok váltakozása volt jellemző. A hőmérséklet napi ingadozásában nem voltak nagy kilengések, és a forró napok száma sem volt olyan magas, mint az előző évben, mégis a kedvezőtlen periódusok a búza kritikus fejlődési időszakában jelentkeztek. A már említett GK Csillag 375 db/m² és az Aviron 50 db/m² társítása volt az egyetlen, amely mindhárom évben felül tudta múlni a tiszta vetés termésének értékeit.

8.2 Kölcsönhatások értékelése

A legtöbb kutatás a növénytársítás egyik legnagyobb előnyének a társnövények együttes terméstöbbletét tekinti a tiszta vetéssel szemben, amelyet a rendelkezésre álló erőforrások hatékonyabb kihasználásának tulajdonítanak (Corre-Hellou et al. 2006, Hauggaard-Nielsen és Jensen 2001). Ezáltal egy hatékony növénytársítás inkább komplementer jelleget mutat, nem pedig versengést a résztvevő növényfajok között (Pelzer et al. 2012, Dhima et al. 2007). Ez azonban nem feltétlenül teljesül búza és borsó keverékvetés esetén, ahol a társított növények víz, tápanyag és fényigénye egyidőben jelentkezik, és az azonos erőforrás igény óhatatlanul versengéshez vezet. A területarányos hozam index (LER) jól mutatja a búza-borsó növénytársítás terméselőnyeit (Hauggaard-Nielsen és Jensen 2005), bár ez az alapvető kompetíciós index sokkal inkább a társítás termőképességét fejezi ki a monokultúrával szemben, a társnövények közötti kölcsönhatást csupán közvetve jelzi (Bedoussac et al. 2015). Kísérletemben minden tenyészidőszakban terméselőnyt mutattam ki, tehát előnyösebb volt a növénytársításban való termesztés, mint önálló vetésben. Justes et al. (2021) szerint a társítás teljesítménye évről-évre változhat, és egyszerre számos környezeti tényező képes jelentősen befolyásolni. Különösen igaz lehet ez a harmadik kísérleti évemre, ahol a társnövények jóval kisebb terméshozamot értek el, mint az azt megelőző két évben. A részleges LER értékek grafikus ábrázolásakor szinte az összes érték abban a négyzetben jelenik meg, amely a búza dominanciája vetíti elő. A búza fölény jelenléte teljesen egybevág Andersen et al. (2004) állításával, mely szerint növénytársításban a gabona a domináns fél annak nagyobb versenyképessége végett. Egy társításon belül a jobb erőforrás kihasználás ugyan a komplementaritás lehetőségét veti fel, azonban a kölcsönhatások között nagyon finom egyensúly áll fenn, amely gyorsan versengéssé formálódhat (Duchene et al. 2017). Ennek tökéletes példái a Cellule/Aviron társítás 50:100, 75:50 vetésarányai (2021 és 2022 években) és az 50:75, 50:50 arányú kombináció 2022-ben, amely a kooperáció és komplementaritás jelenlétét igazolta. Következésképp a Justes et al. (2021) által felvázolt interakciók (versengés, komplementaritás, kooperáció, kompenzáció) változhatnak a fejlődés menet során, intenzitásuk és egyensúlyuk határozza meg, hogy éppen melyik kölcsönhatás kerül érvényre. Egyik kölcsönhatás jelenléte nem zárja ki a másikat, és a társítás végső terméshozamának kialakulásában valamennyi interakció szerepet játszhat.

A búza domináns szerepe az agresszivitás (A) során is megmutatkozott: az összes keverék pozitív értéket töltött be, ezáltal a relatív termésnövekedés is magasabb volt a búza esetében, míg a borsó erősen negatív maradt. Ez az arány egyedül az első évben (2021) a Cellule/Aviron 75:50 keverék esetében fordult meg a borsó javára. A kísérlet során alkalmazott búzafajták erős

növekedési hajlammal, és a környezeti tényezőkhez jó alkalmazkodóképességgel rendelkeztek, mely tulajdonságot a társítás során is megőrizték. Ez a fennmaradt tulajdonság akkor kap igazán hangsúlyt, ha figyelembe vesszük, hogy a legtöbb nemesítési program a monokultúrára specializálódott (Nelson et al. 2021), amely nem feltétlenül tükrözi egy faj/fajta teljesítményét növénytársításban (Pankou et al. 2022). Ebből következik, hogy olyan stresszel terhelt környezetben, mint a versengés, a terméshozam a helyi szelekciós nyomásnak köszönhetően változhat. A versenyképesség tehát nem egy állandó tulajdonság, sokkal inkább egy adott helyzetre adott válasz, amelyre a genotípus, a környezet, és a fellépő kölcsönhatás egyaránt jelentős befolyással bír (Baxevanos et al. 2017, Duchene et al. 2017). A versenyképességi arány (CR) a társnövények közötti versengés értékelésére szolgáló kompetíciós mutató. Őszi búza és őszi borsó keverékvetés esetén mindhárom évben a búza CR értékeinek többszörösét mértem a borsóhoz képest. Lithourgidis et al. (2011b) szerint a hüvelyesek gyakran alacsony versenyképességgel rendelkeznek, emiatt a terméselőny eléréséhez nagyobb vetésarány szükséges a társításon belül. Tehát a társnövények közötti erőviszony megtartása szempontjából a keverékalkotó fajok egymáshoz mért aránya is lényeges kérdés. Ezt az állítást erősíti meg Hauggaard-Nielsen és Jensen (2001) is, akik szerint a társnövények vetésaránya a jobb erőforrás kihasználás okán a tiszta vetés mennyiségét is meghaladhatja. Csakhogy a kísérletemben a magas gabona arány éppen a domináns szerep erősödéséhez vezetett, és egyértelmű befolyással volt a versengés dinamikájára, ahogy azt Agegnehu et al. (2008) is tapasztalta kutatása során.

Connell (1983) szerint növénytársításban többnyire az aszimmetrikus versengés fordul elő, ahol az egyik faj versenyelőnyhöz jut a másikkal szemben, mindez azonban negatív hatással lehet a társítás teljes egészének hatékonyságára (Corre-Hellou et al. 2006). Kísérletemben a borsó olyan erős elnyomását tapasztaltam a búza által, amely a tényleges termésveszteségben (AYL) egyértelműen megmutatkozott. Termésnyereség kizárólag a búza részeredményeiben fordult elő, míg a borsó termésvesztesége a termésmennyiség jelentős hányadát érintette. A harmadik kísérleti év időjárása azonban mindkét fajt hátrányosan érte: a termésveszteség a búza esetében 33%-ot tett ki, ezzel szemben a borsó terméshiánya a 91%-ot is elérte. A tényleges termésveszteség (AYL) a keverékvetés egészére vonatkozóan kivétel nélkül negatív értékkel zárt. Hasonló eredményeket kaptam a növénytársítás előnye index (IA) tekintetében, ahol a számítás alapját a tényleges termésveszteség (AYL) és a kereskedelmi érték (Pw/Pp) szorzata adja. A keverékvetés elsősorban búza szempontjából járt előnnyel, és a fajták közül a Cellule bizonyult előnyösebb választásnak a másik kettővel szemben. A borsó számára a társítás kialakítása/összetétele kivétel nélkül hátránnyal járt. A nagymértékű termésveszteség folytán nemcsak a borsóra vonatkoztatott részeredmények (IAp) lettek negatívak, hanem a társítás összteljesítménye is negatívvá vált. Ksiezak et al. (2023) szerint a növénytársítás teljesítményét mindenképp a gyengébb versenyképességű társnövény hatásfoka határozza meg. Ez alapján megállapítható, hogy a borsó vetésarány kompenzációja nélkül a társítás sem tud hatékonyvá válni, mert a túlzott mértékű versengés eltolja az erőviszonyokat a búza irányába, amely a borsó teljes elnyomását vonja maga után.

A gazdasági előny index (MAI) számítása mindhárom kísérleti évben más-más eredményt hozott. Az ingadozó világpiaci ár az őszi borsó szempontjából kedvezően alakult, ugyanakkor a búza felvásárlási ára igencsak lecsökkent főként a harmadik év végére Magyarországon és a világon egyaránt. A változó kereskedelmi árak a LER értékekkel összevetve csak az első két évben mutattak jövedelmező társítást. Emellett a búzafajták közül a Cellule keverékei képviseltek magasabb gazdasági értéket a GK fajtákkal szemben. A harmadik kísérleti év többségében gazdasági hiányt eredményezett, és összesen csak 4 esetben volt nyereséges: ez a GK Szilárd/Aviron 50:50, a Cellule/Aviron 50:75, és a GK Csillag/Aviron 50:50, valamint az 50:75 kombináció volt. A jelenség egyaránt tulajdonítható a kedvezőtlen termesztési körülményeknek, és a társnövények között fennálló erőteljes versengés következményének.

8.3 Fenológiai megfigyelések és a magasság értékelése

A társnövények fejlődésmenet leírása a nemzetközi szakirodalomban elvétve fordul elő, és jellemzően csak a gabonaféléket jelöli meg. Bedoussac és Justes (2010b) munkájában őszi durumbúza és őszi borsó keverékének fejlődésmenetét írja le két kísérleti évre visszamenően, a feltüntetett hőösszeg értékek nagy valószínűséggel a durumbúzához tartoznak. Az egyes fejlődési szakaszok ütemezése részben megegyezett a saját kísérletemben tapasztaltakkal, ugyanakkor a leírás kissé hiányos és ebből kifolyólag a számított hasznos hőösszeg értékek is jelentős eltéréseket mutattak. Urbatzka et al. (2012) állítása szerint őszi borsóra vonatkozó hivatalos BBCH határozókulcs nem áll rendelkezésre, a meglévő leírás a gyakoribb tavaszi kultúrára értendő. Való igaz, hogy a határozókulcsban az egyes fejlődési szakaszokra jellemző BBCH kódok között nagy ugrások vannak, és a köztes állapotokról nem nyújtanak információt. Eképpen a fejlődésmenet kezdeti fázisai nehezen felismerhetők és szakértelem nélkül magában hordozzák a tévesztés lehetőségét. A megoldás azonban nem feltétlenül az őszi borsó határozókulcs készítése lenne, csupán a fejlődési ütemmel kapcsolatos ismeretek bővítése szükséges. A fejlődési fázisok időpont megjelölése azért nem előnyös, mert az egyes évek időjárási viszonyai eltolhatják azok kezdetét és időtartamát. Ellenben a hőösszeg számítás tükrözi az adott évszak hőmérsékleti változásait, és a borsó esetében a vetési időtől függően a virágzás kezdetére van hatással.

Hauggaard-Nielsen és Jensen (2005) megállapítása szerint egy növénytársítás összeállítását a termesztési cél és a termesztési körülmények egyaránt meghatározzák. Azonban éppen a hüvelyeseket nagymértékű termésingadozás jellemez, az évjáráthatás szerepe a végső termés kialakításában rendszerint nagyobb, mint maga a termőhely, vagy a talajviszonyok hatása (Kismányoky 2005). Emellett a klímaváltozás következtében eltolódott termesztési övezetek további befolyással vannak arra, hogy a mérsékelt övi éghajlat mely növények termesztésére alkalmas. Mikic et al. (2011) áttelelési kísérleteikben őszi borsót, lóbabot és búkkönyt hasonlítottak össze, és ígéretes eredményeket értek el télálló fajták nemesítésében. Neugschwandtner et al. (2019) szerint a klímaváltozás kifejezetten kedvez a hagyományosan tavaszi vetésű növények őszi kultúrára való áttérésének, ami által a csapadék minta eltolódik a kedvezőbb téli évszak irányába. Ez által pedig megnő az aszályos időszak elkerülésének esélye a borsó érzékeny fejlődési fázisaiban. Az őszi borsó hosszabb tenyészideje korábbi virágzást, hosszabb szemtelítődési időszakot, stabilabb és magasabb termést tesz lehetővé (Bourion et al. 2003). Hazánkban az éghajlati adottságok és a termőképesség végett a búza őszi életformájú változata terjedt el (Pepó 2022), eképpen télálló borsófajtával való társítása kézenfekvő választásnak tűnik a keverékvetésre.

A fajtajellemzők erősen befolyásolhatják a borsó versenyképességét a keveréken belül. Ma Európában főként a féllevélkés (afila) típusú borsófajta van kereskedelmi forgalomban, elsősorban az alacsony megdőlési hajlama miatt, ami jelentősen megkönnyíti a betakarítás menetét (Szyrový et al. 2015, Tran et al. 2022). A féllevélkés típus több fényt enged át a normál-leveles fajtákhoz képest és a nagyobb légmozgás kisebb kórokozó terhelést tesz lehetővé. Az elmúlt években a növénytársításban is egyre inkább ezek a típusú fajták jelennek meg (Rauber et al. 2001), annak ellenére, hogy versenyképességük kisebb a normál-leveles fajtáknál, amelyek nagyobb levélfelülettel, és növénymagassággal bírnak (Tran et al. 2022). A hüvelyesek rendkívül érzékenyek a leárnyékolásra, ezáltal a fotoszintézis szempontjából meghatározó levélfelület nagysága sokkal nagyobb hangsúlyt kap társításban, mint önálló vetésben (Rauber et al. 2001). Lithourgidis et al. (2011a) szerint növénytársítás esetén a versengés mérséklése érdekében érdemes egymástól különböző magasságú társnövényeket választani. Ez az állítás igaz lehet sávos típusú vetés esetén, ahol a különböző fajok csak részben árnyékolják le egymást. Tapasztalatom szerint azonban őszi búza és borsó keverékvetés esetében – a vegyes összetételű sorokból adódóan – a fényért folyó küzdelem folyamatosan jelen van a fajok fejlődésmenete során. Így a növények több energiát fordítanak az egymással való versengésre, ami a termésképzésben is megmutatkozhat. Önmagában a versengés a kísérletemben az erőviszonyok eltolódását eredményezte hol az egyik, hol a másik faj javára. A növénymagasságból származó hierarchia

azonban nem maradt állandó kizárólag az egyik fajra nézve: erre a magasságban bekövetkező metszéspontok mutattak példát. A fényért való versengés a GK Szilárd és a Cellule esetében már a búza szárbaindulás végén (BBCH 34-37) és a borsó virágzás idején eldől a búza javára, de végleg a búza kalászhányás fázisában (BBCH 50-53) és a borsó hüvelytelítődés idején (BBCH70-72) veszi át a vezetést. A GK Csillag búzafajta esetében a magasságváltás már a búza a zászlóslevél kiterülése (BBCH 41-45) és a borsóvirágzás során (BBCH 67-69) végbemegy. Bourion et al. (2003) szerint a légköri nitrogén megkötés fokozatos megszűnésével esik egybe, ami a borsó nitrogénellátó szerepének végét jelenti. Növénytársításban a borsó a búzafajtától függetlenül azonos magasság mintázatot vett fel és alacsonyabb volt, mint önálló vetésben. Ellenben a búza magasságán a társítás nem változtatott érdemben a tiszta vetéshez képest. Tehát a magasság változás elsősorban a borsót érintette társításban. A zöldborsó szakaszos vetéséhez hasonlóan a társítás vetési időpontjának korábbi megválasztása a borsó korábbi virágzását eredményezte és a korábbi érésű búzafajta alkalmazása (pl. GK Csillag) változást hozhat a tenyészidőszak hosszában. Ezáltal esély mutatkozik a két társnövény fejlődésmenetének kedvezőbb összehangolására.

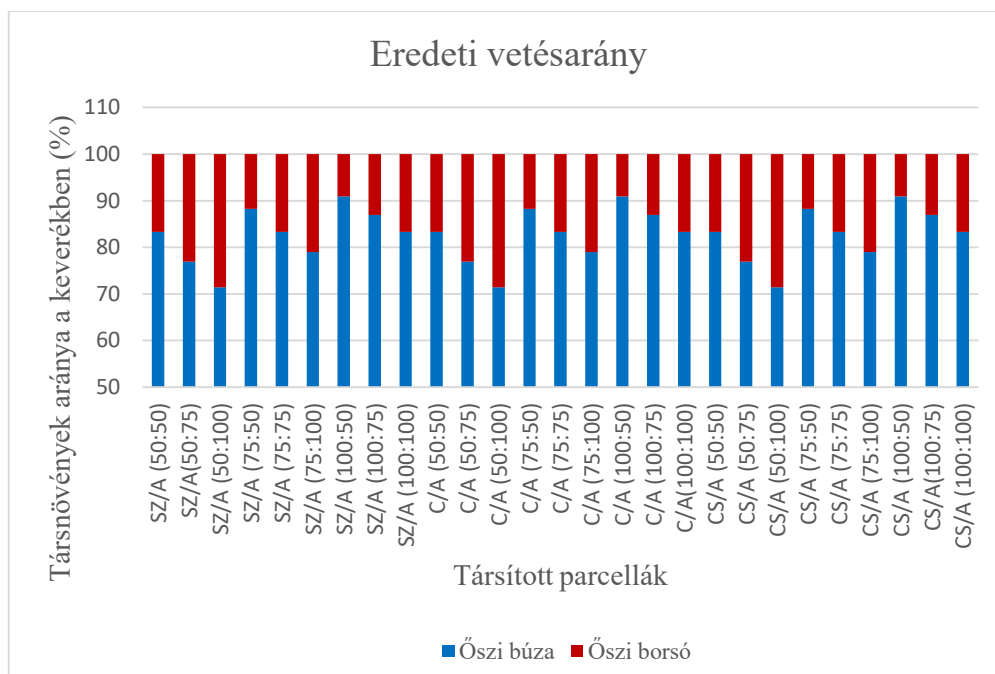
Fukai és Trenbath (1993) kutatásai alapján a társnövények termékenysége szorosan összefügg a növekedési fázisok váltakozásával. Ha a fejlődési stádiumok azonos ütemben váltják egymást, a résztvevő fajok tápanyag igény maximuma nagy eséllyel egybeesik, ami óhatatlanul versengést idéz elő közöttük. A növekedési fázisok eltolódása egymáshoz képest lehetővé teszi, hogy a lassabban fejlődő növény képes legyen felépülni abból a lemaradásból, amit a másik faj viselkedése vált ki (Lithourgidis et al. 2011a). Az őszi búza-őszi borsó növénytársítás esetében mindkét formára láthattam példát: a vegetatív szakaszban az azonos fejlődési ütem és erőforrásigény versengést váltott ki, a búza kezdeti fejlődési előnye pedig elősegítette a domináns szerep kialakulását. Az őszi borsó generatív szakaszba való fordulása váltást okozott a társnövények fejlődési ütemében, a borsó fejlődési szakaszai hamar követték egymást és korábban érték el a fiziológiai érettség fokát. Ellenben a búza később fordult a generatív szakaszba, a hosszabb tenyészidőszak által pedig folyamatos, az igényeinek megfelelő nitrogén ellátás állt rendelkezésre.

8.4 Az őszi búza termésmennyiségének és minőségének értékelése

Habár a növénytársítás, mint termesztési mód széles körben ismertté vált a világon, a gyakorlatban továbbra is a fejlődő országokban kap nagyobb hangsúlyt. Az alkalmazásában rejlő lehetőségek és számos előnye ellenére az agronómiai kutatások irányvonala a fejlett országokban még mindig jórészt az egykultúrás termesztési rendszerekre korlátozódik, csekély érdeklődéssel a társnövények között fennálló kölcsönhatások iránt, amely döntő szereppel bír a társítás hatékonyságában (Malézieux et al. 2009). Ehhez hozzájárul az a körülmény, hogy a növénytársítás sokkal több és összetettebb problémákat vet fel a monokultúrás termesztéshez képest (Lithourgidis et al. 2011a).

Az egyik ilyen jelentős kérdés a növénytársítás terméselőnye, amelyet számos kutatás kulcsfontosságú jellemzőnek tekint, különösen alacsony nitrogén műtrágya ellátottság mellett (Hauggaard-Nielsen et al. 2006, Ghaley et al. 2005). Ezzel szemben Pelzer et al. (2012) tanulmányában az alacsony ráfordítással rendelkező búza-borsó növénytársítás hozama csupán megközelítette a hagyományosan trágyázott tiszta vetésű gabonanövények szintjét. Ez az eredmény részben megegyezik a saját kísérletemben tapasztaltakkal, ahol egyes társítások meghaladták a tiszta vetés értékeit. Az első tenyészidőszakban (2020/2021) a legmagasabb termés a GK Csillag fajta mellett valósult meg (kontroll+24%). Míg a második tenyészidőszakban (2021/2022) mindhárom búzafajta esetében jelentkezett terméstöbblet, de a maximum értéket a GK Szilárd képviselte (kontroll+13%). Ellenben a búzafajták termés értékei között nem volt jelentős különbség, amelyet a statisztikai elemzés is megerősített. Meg kell azonban jegyezni, hogy kísérletemben sem a keverékvetésben, sem a kontroll parcellákban nem történt nitrogén műtrágya kijuttatás. Ennek értelmében az elemzés tisztán a növénytársítás teljesítményét mutatja, amely például szolgálhat a nitrogén trágyázás teljes elhagyására az ökológiai, vagy kis

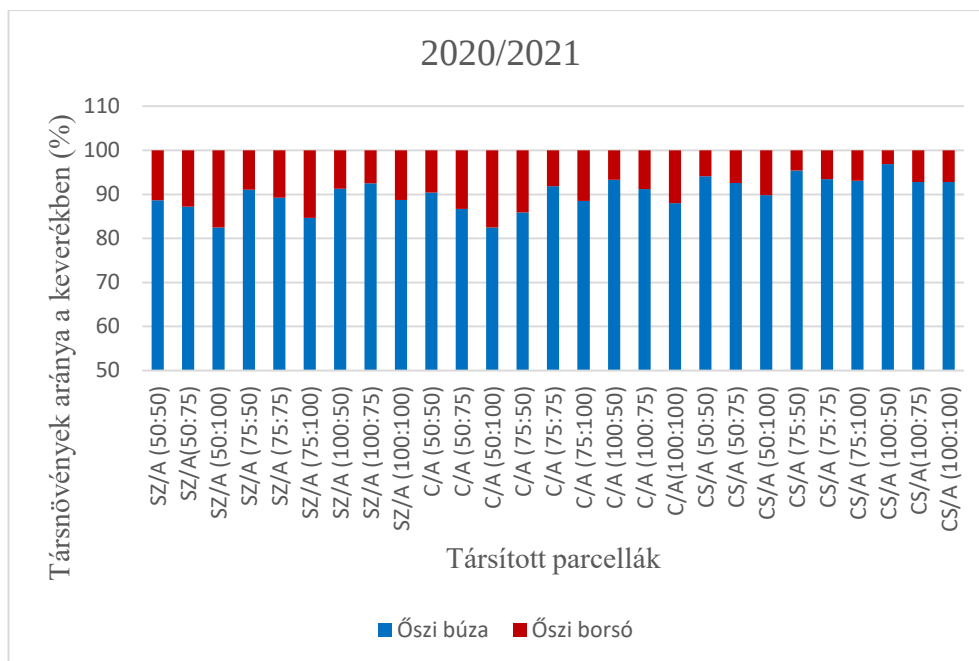
ráfördítással bíró gazdaságok számára. Azokban a társításokban, ahol nitrogén műtrágyázás történik, a termésnövelő hatás mindenképp a búzánál jelentkezik, míg a borsótermés lényegesen lecsökken (Bedoussac és Justes 2010b). A végeredmény szempontjából az össztermés legalább akkora értéket képvisel, mint ami a tiszta vetés esetében látható, de a társnövények egymáshoz viszonyított aránya eltolódik a búza irányába. Hasonló eredmény születik, ha a talaj ásványi nitrogén ellátottsága eleve magas szinten áll, vagy pedig a túlsűrítésből adódóan a társnövények között fennálló versenyegyensúly felborul. A második esetben a magas egyedsűrűség növeli a versengést a társnövények között, ami ugyancsak a domináns fél számára jár előnyökkel (Willey 1979). A hüvelyes növények társításban egyfajta növényi alapú nitrogén bázis szerepét töltik be, és a saját szükségleteik kielégítése érdekében fokozzák a légköri nitrogén megkötés mértékét (Hauggaard-Nielsen et al. 2003, Ghaley et al. 2005). A fajok közötti versengés aszimmetrikus jellege folytán azonban a hüvelyesek aránya lecsökken a keveréken belül, ami éppen a nitrogén megkötés csökkenését idézi elő (Ksiezak et al. 2023). Annicchiarico et al. (2019) szerint a növénytársítás maximális hasznának eléréséhez a fajon belüli és a fajok közötti versengés között optimális egyensúly kialakítása szükséges. A versenyhierarchia kialakulásával azonban nemcsak a hüvelyes növények nyújtotta előnyök jutnak kevésbé érvényre, de a társítás hatékonysága is sérül. A búza esetében ez az elmaradottság nem feltétlenül szembetűnő, de hozzájárulhat a termésmennyiség és minőség alakulásához is, mivel a növény az energia felhasználás nagyobb hányadát fordítja a társnövényvel való versengésre, mint önálló vetésben. A saját kísérletemben ez az eset teljesült, ami az eredeti, vetéssel megegyező, valamint a betakarított termésen belüli búza-borsó arány ábrázolásakor válik láthatóvá. A 70. ábra a társnövények egymáshoz viszonyított értékeit mutatja százalékban kifejezve a vetés időpontjában. Az ábrázolt értékek a jobb viszonyítás végett 50%-ról indulnak. Ezen az ábrán jól látható, hogy már a vetés pillanatában az őszi búza nagyobb arányt képviselt a keveréken belül, mint az őszi borsó. Figyelembe véve a tiszta vetéshez képest kialakított vetéssűrűséget (2. táblázat, 70. ábra társított parcellák zárójelben lévő tiszta vetéshez mért arányai), a két növény együttesen – kevés kivétellel – meghaladta a 100%-ot. Tehát a társnövények együtt sűrűbb állományt alkottak, mint önálló vetésben külön-külön.



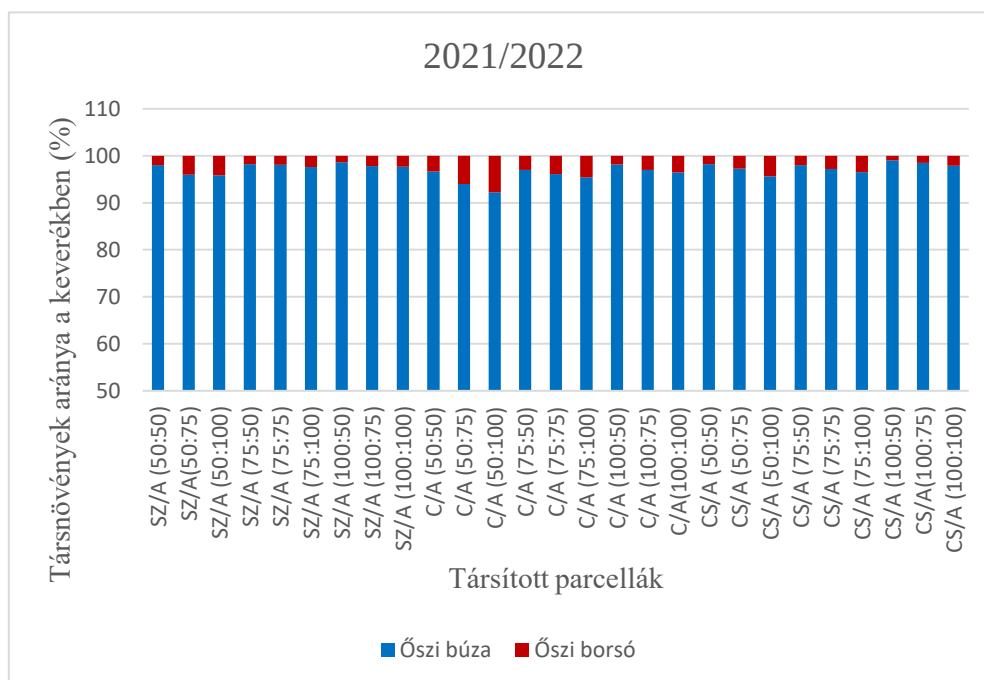
70. ábra: A társnövények egymáshoz viszonyított aránya százalékban kifejezve (a kezdő érték 50%) a társított parcellák esetében, ahol SZ=GK Szilárd, a C=Cellule, a CS=GK Csillag búzafajtát, A=Aviron borsófajtát jelöli. A zárójelben lévő számok a tiszta vetéshez képest mért vetéssűrűségeket jelentik.

A következő ábrákon a társnövények egymáshoz viszonyított arányát mutatom be a betakarított végső termésen belül az egyes tenyészidőszakokra lebontva (71-73. ábra). Itt mindhárom ábrán

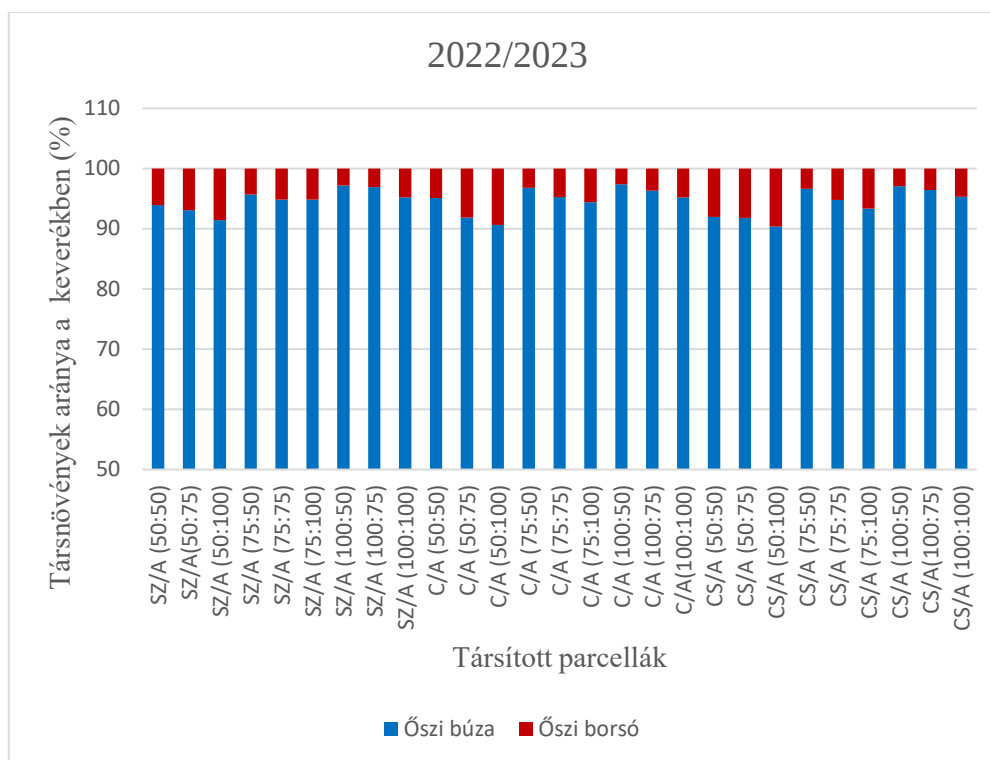
azt láthatjuk, hogy a keveréket alkotó fajok aránya megváltozott, és egy erős búza túlsúly jött létre. Különösen a második, illetve a harmadik tenyészidőszakra volt jellemző, hogy az őszi borsó aránya a betakarított össztermésben töredékére esett vissza. Jóllehet a kompetíciós indexek (LER, A, CR) esetében azt láthattuk, hogy minden tenyészidőszakban a búza dominánsabb fél volt a borsóval szemben, ez az előny a végső termésmennyiségben nem mutatkozott meg. Ennek hátterében egyfelől az a kompromisszum állhat, amelyet Bedoussac et al. (2015) fogalmazott meg, mely szerint a búza nagyobb részaránya a betakarított termésben a borsó hozam csökkenéséhez vezet, és domináns szerepéből fakadóan elnyomja a borsót, de ennek mértéke nem ölt olyan nagy méretet, hogy a növény elhalását eredményezze. Másfelől a fajok közötti versengés a fejlődésment alatt a társnövények magasságának variálását vonta maga után, így kevesebb energia állt rendelkezésre legfőképp a búza számára a termésképző elemek differenciálódására és kinevelésére.



71. ábra: A társnövények egymáshoz viszonyított aránya százalékban kifejezve (a kezdő érték 50%) a társított parcellák esetében az első tenyészidőszakban, ahol SZ=GK Szilárd, a C=Cellule, a CS=GK Csillag búzafajtát, A=Aviron borsófajtát jelöli. A zárójelben lévő számok a tiszta vetéshez képest mért vetéssűrűségeket jelentik.



72. ábra: A társnövények egymáshoz viszonyított aránya százalékban kifejezve (a kezdő érték 50%) a társított parcellák esetében a második tenyészidőszakban, ahol SZ=GK Szilárd, a C=Cellule, a CS=GK Csillag búzafajta, A=Aviron borsófajta jelöli. A zárójelben lévő számok a tiszta vetéshez képest mért vetéssűrűségeket jelentik.



73. ábra: A társnövények egymáshoz viszonyított aránya százalékban kifejezve (a kezdő érték 50%) a társított parcellák esetében a harmadik tenyészidőszakban, ahol SZ=GK Szilárd, a C=Cellule, a CS=GK Csillag búzafajta, A=Aviron borsófajta jelöli. A zárójelben lévő számok a tiszta vetéshez képest mért vetéssűrűségeket jelentik

A növénytársítás másik kulcskérdése a fokozott termésstabilitás (Bedoussac et al. 2015, Brooker et al. 2014). Pelzer et al. (2012) szerint azonban a terméshozam és annak stabilitása a kísérleti évek között több tényezőtől is függ, úgy, mint talaj klimatikus viszonyok, vetéssűrűség, vetési idő, társnövények aránya, vagy a nitrogén elosztás. Kísérletemben a termésmennyiségek tekintetében az első két év között nem volt jelentős eltérés, holott a második év erősen aszályos volt, és a hőstressz tünetei az egész állományban jelentkeztek. Ez arra enged következtetni, hogy a forró napok száma és időtartama olyan fejlődési fázisban érte a búzát, ami kevésbé vetette vissza a termésmennyiséget. Ugyanakkor a második tenyészidőszakban (2021/2022) a terméstöbbség mindhárom búzafajta esetében jelentkezett, ami arra utal, hogy bár a stresszhatás egyaránt érte az állományt, a keverékvetés sajátos mikroklimája által mégis egyfajta védelmet nyújtott a búzának a környezeti hatásokkal szemben. A harmadik évben volt a leginkább érezhető a különbség az előző évekhez képest: a visszatérő csapadékhiány olyan kulcsfázisaiban érte a gabonát, amely jelentős termés kiesést okozott függetlenül a választott búzafajtától. Feltehetően a termésingadozást befolyásoló tényezők önmagukban nem, de összeadódva indokul szolgálhattak a gyengébb termés kihozatalnak.

Az elmúlt években a gabona termesztéstechnológiája szemléletbeli változáson esett át: a mennyiséggel szemben fokozatosan a minőségi elvárások kerültek előtérbe. Ma hosszútávra csak az olyan termesztési mód tekinthető hatékonynak, amely eleget tesz a fenntarthatóság feltétel rendszerének. Ennek egyik alappillére a kiváló minőségű növényi termék előállítása (Pepó és Sárvári 2011). A legtöbb búzafajta esetében azonban a termésmennyiség és minőség között negatív korreláció áll fenn. Keverékvetésben ugyanez a minta rajzolódott ki a harmadik tenyészidőszakban (2022/2023), ahol a termésmennyiség erős csökkenése mellett kevés kivételtől

eltekintve a minőségi mutatók egyöntetűen és jelentősen meghaladták a tiszta vetés értékeit. A fehérjetartalom, a Zeleny-érték és a W-érték esetében egy Cellule-GK Szilárd-Cellule búzafajta váltás volt megfigyelhető az egyes években mért legmagasabb értékek tekintetében. Ellenben a siker szempontjából a GK Csillag-Cellule-GK Csillag búzafajta preferencia volt jellemző. Pelzer et al. (2012) tanulmányában nitrogén trágyázatlan társításban magasabb volt a búza fehérjetartalma, mint a trágyázatlan tiszta vetésben. A műtrágya használata éppen hogy megfordította a relációt, és önálló vetésben ért el magasabb értékeket. Kísérletemben bár nem alkalmaztam nitrogén műtrágyát, az első kísérleti években mindkét összefüggésre láthattam példát: hol a keverékben, hol önálló vetésben mértem nagyobb fehérje értékeket. A búza fehérjetartalmának növelése nagy kihívást jelent az alacsony ráfordítással bíró termesztési rendszerekben, ugyanakkor a növénytársítás lehetőséget nyújt egy természetes és megújuló nitrogén forrás alkalmazására. A magas minőségi mutatókkal fémzárolt vetőmag pedig olyan piaci rést tölthet be, amely hozzájárulhat a növénytársítás, mint innovatív termesztési mód fejlődéséhez (Mamine és Farrés 2020).

8.5 Az őszi borsó termésmennyiségének és minőségének jellemzése

Növénytársításban rendszerint két különböző növényfajt termesztünk egy területen a tenyészidőszakok részleges, vagy épp teljes átfedésével, ahol a kétszeres termesztés kisebb kockázatot jelent a klímaváltozás negatív hatásaival szemben, mint ugyanazon növények önálló vetésben (Lithourgidis et al. 2011a). Ebben a termesztési rendszerben az egyik növény lehetséges kiesését kompenzálni tudja a másik betakarítása, ahogyan a folyamatosan változó piaci igények kielégítéséhez is két kultúra nagyobb alkalmazkodóképességet tesz lehetővé (Anil et al. 1998). Őszi búza–őszi borsó növénytársításban a borsótermesztés kritikus termesztési feltételei (gyenge gyomelnyomó képesség, kártevők és kórokozók nagymértékű jelenléte, erős megdőlési hajlam) kisebb hangsúlyt kapnak, ezáltal a termésbiztonság is magasabb szintet érhet el. Ksiezak et al. (2023) szerint a társítás teljes egészének teljesítménye szempontjából a gyengébb versenyképességű társnövény tölt be döntő szerepet. A kezdeti alacsony borsó vetésarány a végső össztermésben is kisebb arányt eredményez, értelemszerűen csökkenti a nitrogén fixáció mértékét, a növény pedig hajlamosabbá válik a termésingadozásra. Ez teljesült a felállított kísérletemben is, ahol az egyenlőtlen társnövény eloszlás a keverékben gyengítette a borsó ellenálló képességét a környezeti tényezőkkel szemben, és drasztikus terméscsökkenést idézett elő (71-73. ábra). Emellett az egyes évjáratok terméshozama között csökkenő tendencia volt megfigyelhető, amiben egyfelől a borsó erős klímaérzékenysége, másfelől viszont a búza túlsúlyból fakadó dominancia játszhatott szerepet. Ez utóbbira utal a magasság variálás a borsó generatív szakaszának kezdetén, és a Sváb-féle kumulatív terméselemzés csökkenő fejlődésgörbéje a hüvelyszám, magszám és magtömeg fázisvégtermékek értékeinél. A búza versenyelőnyei – a fejlődésmenet kezdetén a növekedési erélyéből és magas nitrogén igényéből adódóan, majd a túlsűrítés végett a leárnýékolás által – az egyensúlyt a saját javára billentette el, és erősen korlátozta a borsó termésképzését. A növénytársítás önmagában is stresszfaktor a társnövények számára, ugyanakkor a versenyképesség nem egy kiszámítható tulajdonság a növény részéről. Baxevanos et al. (2017) és Duchene et al. (2017) szerint a versenyképességet befolyásolhatja a genotípus, a környezet, és a fejlődésmenet során fellépő kölcsönhatások. Ezzel szemben Hauggaard-Nielsen et al. (2008) kísérletében pusztán a fajtakombináció és a talajtípus függvényének tekintette, hogy éppen melyik versenytárs került hátrányos helyzetbe. Összefoglalóan talán Annicchiarico et al. (2019) fogalmazta meg legpontosabban az egyoldalú versengés enyhítésének lehetséges feltételeit, mely szerint a kevésbé domináns fajtaválasztás, a nitrogén trágya mellőzése, a hüvelyes növény vetésarányának növelése, és a társítás térgeometriája is befolyással lehet a versengés dinamikájára, és ennek révén a társítás végkimenetelére.

A mezőgazdaság intenzifikációja kezdetén az új fajták nemesítésével és a termesztési körülmények javításával a növénytermesztés a nagy terméspotenciállal bíró gabonafélék irányába tolódott el, ami egyúttal a fehérjetermő növények vetésforgóban való mellőzését és a

vetésterületük fokozatos csökkenését vonta maga után (Crews és Peoples 2004, Voisin et al. 2014). Ezzel párhuzamosan az abrakigényes állatlétszám növekedése jelentős fehérje éhséget idézett elő, amelyet a mai napig sem sikerült teljesen hazai forrásból előállítani (Sárvári 2022). A jelenlegi helyzetben a hazai fehérjebázis növelése kizárólag más kultúra termesztésterületének rovasára valósulhatna meg, ezért minden olyan termesztési mód értékes lehet a jövőben, amely a növényi fehérje hazai előállítását segíti elő. Keverékvetésben az őszi borsó termésmennyisége a kísérleti éveim alatt csökkenő tendenciát mutatott, ellenben a fehérjetartalom minden társítás esetében meghaladta a tiszta vetés szintjét. A legmagasabb értékeket az erősen aszály súlytott második évben mértem, de közel ilyen magas fehérjetartalom volt jellemző az átlagosnak mondható első évben és az időszakosan csapadékhiányos harmadik évben is. Ez arra enged következtetni, hogy a növénytársítás ebben az összeállításban függetlenül a környezeti tényezőktől a borsó fehérjetartalmának kedvezett. Azonban látnunk kell, hogy ehhez a magas fehérje értékhez egy nagyon csekély mennyiségű borsó társult, amely ebben a formában nem lenne képes a takarmánykeverékek igényét betölteni, vagy a szója, mint legfontosabb fehérjenövény szerepét akár részben is átvenni. Mindazonáltal a növénytársítás, és ezen belül a keverékvetés tökéletesítésével, igazoltan GMO mentes, a növényvédelem szempontjából jelentősen kisebb ráfordítást igénylő termesztési mód kerülhet kialakításra, amely alternatívát nyújthat a későbbiekben a hagyományos termesztéssel szemben.

9. Új tudományos eredmények

A dolgozatokban elsősorban egy olyan innovatív termesztési módot szerettem volna bemutatni, amely idővel meghatározó eleme lehet a fenntartható növénytermesztésnek.

Kísérletem alapján a következő új tudományos eredményeket emelném ki:

1. Az őszi búza és őszi borsó között a fényért való versengés a búza javára a kalászhányás fázisában (BBCH 50-53) dől el, eközben a borsó a hüvelytelítődés fázisában jár (BBCH70-72). Ez az állítás alól a GK Csillag búzafajta képez kivételt, ahol a magasság váltás már a búza zászlóslevél kiterülésekor (BBCH 41-45) és a borsóvirágzás idején (BBCH 67-69) végbemegy. A búza további növekedése leárnyékolja a borsót, amely így alacsonyabb marad, mint önálló vetésben. A borsó generatív fázisainak gyors ütemváltása korai érettséget eredményez a búzával szemben.
2. Az első két kísérleti év minden társítás esetében terméselőnyt mutatott ki, ellenben a harmadik évben a kiegyensúlyozatlan keverékek kerültek túlsúlyba. A részleges LER értékek grafikus ábrázolása az őszi búza dominanciáját vetítette elő, mindamellett a Cellule/Aviron 50:100, 75:50 vetésaránya (2021 és 2022 években) és az 50:75, 50:50 arányú kombináció 2022-ben a kooperáció és komplementaritás jelenlétét igazolta.
3. A kompetíciós indexek közül az agresszió (A) és a versenyképességi index (CR) főként a búza elsőbbségét támasztotta alá, kizárólag a 2021-es évben a Cellule/Aviron 75:50 keveréke esetén fordult meg az arány a borsó javára. A gazdasági előny index (MAI) az első két kísérleti évben a társítások jövedelmezőségét mutatta, ahol a legnagyobb gazdasági értéket a Cellule keverékei képviselték. Ezzel szemben a harmadik év erős gazdasági hiányt mutatott. A tényleges termésveszteség (AYL) és a növénytársítás előnye index (IA) esetében a búza pozitív részeredményei ellenére a keverékvetések egésze terméskiesést és hátrányos társítást mutatott.
4. Az őszi búza termésmennyisége keverékvetésben az első évben a GK Csillag búzafajta mellett haladta meg a tiszta vetés értékeit (kivéve az 50:100 vetésarányban). Míg a második évben a másik két faj teljesített jobban a GK Szilárd/Aviron 50:50, 50:100, 100:50 és Cellule/Aviron 75:100, 100:50 vetésarány esetén. A túl sűrű állomány és a magas gabona vetésarány a keveréken belül a versengés fennmaradását segítette elő, ezáltal a borsó aránya a betakarított termésben alacsonyabb szintre esett vissza.
5. Az őszi borsó csekély részaránya a betakarított termésben a keverékvetés sajátos mikroklímája ellenére fokozta annak klímaérzékenységét, és az egyes kísérleti évek között fokozatos terméseszköken volt megfigyelhető. Ellenben a fehérjetartalma a kísérleti évektől függetlenül valamennyi keverék esetében meghaladta a tiszta vetés szintjét. A túlzott mértékű versengés a fejlődésment során a keverékvetés hatékonyságát vetette vissza, ezért keverékvetés esetén már a magkeverék összeállításakor a társnövény vetésarányok kiegyensúlyozása elengedhetetlen feladat.

10. Összefoglalás

Őszi búza és őszi borsó növénytársítás kísérletem a Magyar Agrár,- és Élettudományi Egyetem Növénytermesztési-Tudományok Intézetének Szeged-Öthalom telepén végeztem három egymást követő tenyészidőszakban (2020/2021, 2021/2022, 2022/2023). Kisparcellás kísérletemben a növénytársítás keverékvetés típusát alkalmaztam véletlen blokk elrendezésben, 4 ismétlésben, ahol egy parcella mérete 9 m² volt. A keverékvetést 3 őszi búzafajta (GK Szilárd, Cellule, GK Csillag) és egy őszi borsófajta (Aviron) három vetéssűrűségének (a tiszta vetés 50%, 75%, 100%-a) kombinációja alkotta.

A dolgozatom célja a két társnövény fejlődésmenetének és kölcsönhatásának vizsgálata volt a búza és borsó terméselemek, kompetíciós indexek, gazdasági mutatók, bonitálási jegyzőkönyvek, magasság mérések és a termés mennyiség, illetve minőségi mutatók által.

A kitűzött célok elérésének érdekében több alkalommal bonitáltam az állományban véletlenszerűen választott növény minta szerint. A növény mintákból a hivatalos BBCH határozókulcs alapján meghatároztam a társnövények fejlődési fázisát, amelyhez hozzárendeltem a hasznos hőösszeg értékeket (foknap) és a vetéstől eltelt napok számát. Ez alapján elkészítettem az őszi búza és őszi borsó párhuzamos fejlődésmenet ábráját.

A harmadik tenyészidőszakban (2022/2023) a búza és a borsó növény magasság mérését végeztem növénytársításban és tiszta vetésben egyaránt. A mért értékeket grafikusán ábrázoltam.

Valamennyi kísérleti évben közvetlenül a betakarítás előtt teljes gyökeres mintát vettem minden parcellából. A minta feldolgozását követően a búza terméselemei (tőszám, hajtásszám, kalászsorszám, kalászkaszám, szemszám, szemtömeg), majd pedig a borsó termés mutatói (tőszám, hajtásszám, hüvelyszám, szemszám és szemtömeg) alapján Sváb-féle kumulatív terméselemzést végeztem. Az így elért eredményeket grafikusán ábrázoltam.

A betakarítást követően a termés tisztítása, mérése, majd pedig a minőségi paraméterek vizsgálata következett. A kapott eredményeket, és a termésből számított kompetíciós indexek és gazdasági mutatók értékeit több tényezős varianciaanalízis (MANOVA) segítségével IBM SPSS v. 29 statisztikai szoftver segítségével elemeztem.

Keverékvetésben, ebben az összeállításban az első két évben jelentkezett terméselőny, míg a harmadik évben jórészt kiegyensúlyozatlan keverékek jöttek létre. A részleges területarányos hozam index (LER) értékek grafikus ábrázolása az őszi búza dominanciáját irányozta elő, amelyet a további kompetíciós indexek is megerősítettek: az agresszió (A) és a versenyképességi index (CR) esetében is a búza sokkal nagyobb értékeket képviselt. A gazdasági előny index (MAI) az első két évben a társítások jövedelmezőségét, a harmadik évben gazdasági hiányt mutatott. A borsó jelentős termésveszteségéből adódóan a társítás egészének teljesítménye is a tényleges termésveszteség (AYL) és a növénytársítás előnye index (IA) tekintetében negatív értékeket vett fel. A társnövények fejlődési ütemének váltása a versengés dinamikájában okoz változást: a borsó nitrogénmegkötő szerepe a hüvelytelítődés fázisában fokozatosan szűnik meg, ezzel egyidejűleg a búza túlnövi magasságában a borsót. A magasság különbségből eredő leárnýékolás a borsó fejlődését a generatív szakaszban szinte teljesen elfojtotta. Az ehhez adódott szélsőséges időjárás negatív hatásai az alapvető hőtoleranciának köszönhetően mégsem vezettek a borsó teljes elhalásához. A nitrogén trágyázás teljes elhagyásából adódóan a búza termés mennyiség tisztán a keverékvetés teljesítményét tükrözte, ahol csak egyes esetekben haladta meg a tiszta vetés értékeit. A parcellák túlsűrítése a búza versenyfőlényét erősítette, és egyszerre vezetett a társnövény arányának növekedéséhez a búza esetében, valamint a borsó csökkenéséhez a betakarított termésben. Az egyenlőtlen eloszlás összességében gyengítette a borsót, amely fokozta annak kitettségét a klímaváltozással szemben és a termé singadozást idézett elő. A magas minőségi mutatókkal bíró, igazoltan GMO mentes búza, de legfőképp borsó, jelentős piaci rést tölthet be a kereskedelemben.

A keverékvetés gyakorlati felhasználása a gazdálkodók számára is könnyűszerrel megvalósítható: az egy menetben elvégezhető gépi munkák (vetés, növényápolás, aratás) nem igényelnek külön beruházást, a növényvédelem két faj esetén is összehangolható és megegyezik a

gabonaféléknél már ismert kezelésekkel. Emellett a kisebb kártevő-, és kórokozó jelenlét, valamint az alacsonyabb gyomterheltség keverékvetésben csökkenti a ráfordítások költségét. A télálló, őszi borsó fajtaválasztéka pedig könnyen az őszi gabonafélék termesztéséhez igazítható hazánkban. A hüvelyes társnövény nitrogén megkötő képessége által egy természetes, a búza igényeinek megfelelő nitrogénforrás kerül felhasználásra, ahol a borsó termésbiztonságot nyújtó, illetve termésnövelő hatása már a vetés évében teljesül.

11. Summary

My experiment about winter wheat and winter pea intercropping was conducted at the research station of the Hungarian University of Agriculture and Life Sciences in Szeged-Öthalom in 3 consecutive growing seasons (2020/2021, 2021/2022, 2022/2023). In my small-plot field experiment was used the seed mixture type of intercropping in a randomized block design with 4 replications, where each plot size was 9 square meters. The seed mixture contained the combination of three winter wheat varieties (GK Szilárd, Cellule, GK Csillag) and a winter pea variety (Aviron) with the sowing density of the 50%, 75%, 100% of the local standard cropping practice in pure stands.

The aim of my thesis was to investigate the development process and the interaction between the two companion plants by yield components of wheat and pea, competition indices, monetary advantages, plant set reports, height measurement, yield and quality indicators.

In order to achieve my goals I made plant set reports several times during the experiment using randomly selected plant samples. From the plant samples, I determined the developmental phase of the companion plants based on the official BBCH-identification keys, then I added the heat-sum (degree days) and the number of days after sowing. Based on these results, I prepared the diagram of the parallel development of winter wheat and winter pea.

In the third growing season (2022/2023) I measured the height of the wheat and pea plants in both plant association and pure stands. I represented the measured values graphically.

In each year of the experiment, I took whole root samples from each parcel directly before harvest. After sample processing, based on the wheat yield components (plant numbers, shoot numbers, ear numbers, spikelet numbers, grain numbers, grain weight), and the pea yield components (plant numbers, shoot numbers, pod numbers, grain numbers, grain weight) I performed cumulative yield production analysis. I have graphically represented these results achieved in this way.

After harvest, yield was cleaned and measured, and then the quality parameters were examined. These results, as well as the values of the competition indices and monetary advantages were analyzed statistically using the method of multivariate analysis of variance (MANOVA). All statistical analyses were performed using the statistical software IBM SPSS v.29.

In mixed cropping, in this composition the yield advantage occurred in the first two years, while in the third year largely unbalanced mixtures were created. Graphical representation of land equivalent ratio (LER) predicted the dominance of winter wheat, which was confirmed by other competition indices: in the case of aggressivity (A) and competitive ratio (CR), wheat represented much higher values. The monetary advantage index (MAI) showed the profitability of the associations in the first two years and an economic deficit in the third year. Due to the significant yield loss of pea, the performance of the whole mixed cropping had negative values in terms of actual yield loss (AYL) and intercrop advantage (IA). Growth duration change of the companion plants caused a shift in the dynamics of competition: the nitrogen fixing role of pea stops during in the pod filling phase, at the same time, wheat outgrows the pea in height. The difference of height results in shading, which has almost completely suppressed the development of pea in the generative phase. Due to the basal thermotolerance, the negative effects of extreme weather events did not lead to the complete death of pea. Wheat yield without nitrogen fertilization purely reflected the performance of mixed cropping, and it surpassed pure stands only in some cases. The overconcentration of the parcels strengthened the competitive advantage of wheat, and simultaneously led to increased proportion in the case of wheat plant, and decreased rate in pea in the harvested yield. Uneven distribution made pea weaker in total, which increased its exposure to climate change and caused yield fluctuations. Certified GMO-free wheat and pea (especially pea) of high quality indicators represent a significant market margin.

The practical use of mixed cropping can be easily used for farmers as well: mechanical work, which can be done in single stage (sowing, crop cultivation, harvesting), does not require additional investment, plant protection can be coordinated in the case of two species and the

treatments are the same as already known for cereals. In addition, the reduced pests and pathogens incidence, as well as lower weed infestation in mixed cropping reduces the cost of inputs. The variety selection of winter hardy winter pea can be easily adapted to the cultivation of winter cereals in our country. Due to the nitrogen fixing ability of the leguminous companion plant, a natural and suitable nitrogen for the needs of wheat is used, where the yield stability and yield increasing effect is achieved already in the year of sowing.

12. Melléklet

12.1. Melléklet 1.: Felhasznált irodalmi források

1. ABDALLAH I. S., ABDELGAWAD K. F., EL-MOGY M. M., EL-SAWY M. B. I., MAHMOUD H. A., FAHMY M. A. M. (2021): Weed control, growth, nodulation, quality and storability of peas as affected by pre- and postemergence herbicides. *Horticulturae*. 7, 307. doi: 10.3390/horticulturae7090307.
2. AGEGNEHU G., GHIZAW A., SINEBO W. (2008): Yield potential and land-use efficiency of wheat and faba bean mixed intercropping. *Agronomy for Sustainable Development*. 28, 257-263 p. doi: 10.1051/agro:2008012.
3. ALTIERI M. A. (1993): Ethnoscience and biodiversity: key elements in the design of sustainable pest management systems for small farmers in developing countries. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 46 (1-4), 257-272 p. doi: 10.1016/0167-8809(93)90029-O.
4. ALTIERI M. A. (1999): The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Invertebrate Biodiversity as Bioindicators of Sustainable Landscapes*. 19-31 p. doi: 10.1016/B978-0-444-50019-9.50005-4.
5. ALTIERI M. A. (2004): Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2 (1), 35-42 p. doi: 10.1890/1540-9295(2004)002[0035:LEATFI]2.0.CO;2.
6. ANDERSEN M. K., HAUGGAARD-NIELSEN H., AMBUS P., JENSEN E. S. (2004): Biomass production, symbiotic nitrogen fixation and inorganic N use in dual and tri-component annual intercrops. *Plant and Soil*. 266, 273-287 p. doi: 10.1007/s1114-005-0997-1.
7. ANDERSEN M. K., HAUGGAARD-NIELSEN H., WEINER J., JENSEN E. S. (2007): Competitive dynamics in two-and three-component intercrops. *Journal of Applied Ecology*. 44, 545-551 p. doi: 10.1111/j.1365-2664.2007.01289.x.
8. ANDOW D. A. (1991): Vegetational diversity and arthropod population response. *Annual Review of Entomology*. 36, 561-586 p. doi: 10.1146/annurev.ento.36.1.561.
9. ANIL L., PARK J., PHIPPS R. H., MILLER F. A. (1998): Temperate intercropping of cereals for forage: a review of the potential for growth and utilization with particular reference to the UK. *Grass and Forage Science*. 53, 301-317 p. doi: 10.1046/j.1365-2494.1998.00144.x.
10. ANNICCHIARICO P., COLLINS R. P., De RON A. M., FIRMAT C., LITRICO I., HAUGGAARD-NIELSEN H. (2019): Do we need specific breeding for legume-based mixtures? *Advances in Agronomy*. 157, 141-215 p. doi: 10.1016/bs.agron.2019.04.001.
11. ANTAL J. (2005): A növénytermesztés alapjai. 40 p. In: ANTAL J. (Szerk.): *Növénytermesztéstan I*. Budapest: Mezőgazda kiadó, 391 p.
12. BACCHI M., MONTI M., CALVI A., LO PRESTI E., PELLICANÓ A., PREITI G. (2021): Forage potential of cereal/legume intercrops: Agronomic performances, yield, quality forage and LER in two harvesting times in a Mediterranean environment. *Agronomy*. 11, 121. doi: 10.3390/agronomy11010121.
13. BAIGORRI H., ANTOLÍN M. C., SÁNCHEZ-DÍAZ M. (1999): Reproductive response of two morphologically different pea cultivars to drought. *European Journal of Agronomy*. 10 (2), 119-128 p. doi: 10.1016/S1161-0301(99)00002-7.

14. BALIKÓ S., FÜLÖP J. (2002): Szárazborsó. 88, 90-91 p. In: RADICS L. (Szerk.): *Alternatív növények termesztése II*. Budapest: Szaktudás Kiadó Ház.
15. BALLA K., KARSAI I., BÓNIS P., KISS T., BERKI Z., HORVÁTH Á., MAYER M., BENCZE SZ., VEISZ O. (2019): Heat stress responses in a large set of winter wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) depend on the timing and duration of stress. *PLoS ONE*. 14 (9), e0222639. doi: 10.1371/journal.pone.0222639.
16. BANIK P. (1996): Evaluation of wheat (*Triticum aestivum*) and legume intercropping under 1:1 and 2:1 row replacement series system. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 176 (5), 289-294 p. doi: 10.1111/j.1439-037X.1996.tb00473.x.
17. BANIK P., SASMAL T., GHOSAL P. K., BAGCHI D. K. (2000): Evaluation of mustard (*Brassica campestris* Var. Toria) and legume intercropping under 1:1 and 2:1 row-replacement series systems. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 185, 9-14 p. doi: 10.1046/j.1439-037X.2000.00388.x.
18. BANIK P., MIDYA A., SARKAR B. K., GHOSE S. S. (2006): Wheat and chickpea intercropping systems in an additive series experiment: Advantages and weed smothering. *European Journal of Agronomy*. 24, 325-332 p. doi:10.1016/j.eja.2005.10.010.
19. BARNABÁS B., JÄGER K., FEHÉR A. (2008): The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant, Cell and Environment*. 31, 11-38 p. doi: 10.1111/j.1365-3040.2007.01727.x.
20. BAXEVANOS D., TSIALTAS I. T., VLACHOSTERGIOS D. N., HADJIGEORGIOU I., DORDAS C., LITHOUGRIDIS A. (2017): Cultivar competitiveness in pea-oat intercrops under Mediterranean conditions. *Field Crops Research*. 214, 94-103 p. doi: 10.1016/j.fcr.2017.08.024.
21. BAUMANN D. T., KROPFF M. J., BASTAANS L. (2000): Intercropping leeks to suppress weeds. *Weed Research*. 40 (4), 359-374 p. doi: 10.1046/j.1365-3180-2000.00197.x.
22. BÁNYAI J., KARSAI I., BALLA K., KISS T., BEDŐ Z., LÁNG L. (2014): Heat stress response of wheat cultivars with different ecological adaptation. *Cereal Research Communications*. 42 (3), 413-425 p. doi: 10.1556/CRC.42.2014.3.5.
23. BEDOUSSAC L., JUSTES E. (2010a): The efficiency of a durum wheat–winter pea intercrop to improve yield and wheat grain protein concentration depends on N availability during early growth. *Plant and Soil*. 330, 19-35 p. doi: 10.1007/s11104-009-0082-2.
24. BEDOUSSAC L., JUSTES E. (2010b): Dynamic analysis of competition and complementarity for light and N use to understand the yield and the protein content of a durum wheat–winter pea intercrop. *Plant and Soil*. 330, 37-54 p. doi: 10.1007/s11104-010-0303-8.
25. BEDOUSSAC L., JUSTES E. (2011): A comparison of commonly used indices for evaluating species interactions and intercrop efficiency: Application to durum wheat–winter pea intercrops. *Field Crops Research*. 124, 25-36 p. doi: 10.1016/j.fcr.2011.05.025.
26. BEDOUSSAC L., JOURNET E.-P., HAUGGAARD-NIELSEN H., NAUDIN C., CORREHELLOU G., JENSEN E. S., PRIEUR L., JUSTES E. (2015): Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal-grain legume intercrops in organic farming, A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 35, 911-935 p. doi: 10.1007/s13593-014-0277-7.
27. BELLOSTAS N., HAUGGAARD-NIELSEN H., ANDERSEN M. K., JENSEN E. S. (2003): Early interference dynamics in intercrops of pea, barley and oilseed rape. *Biological Agriculture & Horticulture*. 21 (4), 337-348 p. doi: 10.1080/01448765.2003.9755277.

28. BENINCASA P., PACE R., TOSTI G., TEI F. (2012): Early interspecific interference in the wheat/faba bean (*Triticum aestivum*/*Vicia faba* ssp. *minor*) and rapeseed/squarrosus clover (*Brassica napus* var. *oleifera*/*Trifolium squarrosum*) intercrops. *Italian Journal of Agronomy*. 7 (24), 171-177 p. doi: 10.4081/ija.2012.e24.
29. BERK A., BRAMM A., BÖHM H., AULRICH K., RÜHL G. (2008): The nutritive value of lupins in sole cropping systems and mixed intercropping with spring cereals for grain production. In: LUPINS FOR HEALTH AND WEALTH, PROCEEDINGS OF THE 12TH INTERNATIONAL LUPIN CONFERENCE (2008)(Fremantle, Australia). International Lupin Association. Canterbury, New Zealand. 66-70 p.
30. BOCZ E. (Szerk.) (1992): Szántóföldi növénytermesztés. Budapest: Mezőgazda kiadó, 201-202, 238-239, 440-442, 824-825, 832 p.
31. BÓDIS L. (1983): Az abrakhüvelyesek termesztése. Budapest: Mezőgazdasági Kiadó. 9-12, 18-24, 115, 202-204 p.
32. BOURION V., LEJEUNE-HENAUT I., MUNIER-JOLAIN N. G., SALON C. (2003): Cold acclimation of winter and spring peas: carbon partitioning as affected by light intensity. *European Journal of Agronomy*. 19, 535-548 p. doi: 10.1016/S1161-0301(03)00003-0.
33. BOURION V., LAGUERRE G., DEPRET G., VOISIN A-S., SALON C., DUC G. (2007): Genetic variability in nodulation and root growth affects nitrogen fixation and accumulation in pea. *Annals of Botany*. 100, 589-598 p. doi: 10.1093/annbot/mcm147.
34. BROOKER R. W., BENNETT A. E., CONG W-F., DANIELL T. J., GEORGE T. S., HALLETT P. D., HAWES C., IANNETTA P. P. M., JONES H. G., KARLEY A. J. ET AL. (2015): Improving intercropping: a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. *New Phytologist*. 206, 107-117 p. doi: 10.1111/nph.13132.
35. BUECKERT R. A., WAGENHOFFER S., HNATOWICH G., WARKENTIN T. D. (2015): Effect of heat and precipitation on pea yield and reproductive performance in the field. *Canadian Journal of Plant Science*. 95 (4), 629-639 p. doi: 10.4141/CJPS-2014-342.
36. BULSON H. A. J., SNAYDON R. W., STOPES C. E. (1997): Effect of plant density on intercropped wheat and field beans in an organic farming system. *Journal of agricultural Science*. 128 (1), 59-71 p. doi: 10.1017/S0021859696003759.
37. CABALLERO R., GOICOECHEA E. L., HERNAIZ P. J. (1995): Forage yields and quality of common vetch and oat sown at varying seeding ratios and seeding rates of vetch. *Field Crops Research*. 41, 135-140 p. doi: 10.1016/0378-4290(94)00114-R.
38. CARR P. M., MARTIN G. B., CATON J. S., POLAND W. W. (1998): Forage and nitrogen yield of barley-pea and oat-pea intercrops. *Agronomy Journal*. 90 (1), 79-84 p. doi: 10.2134/agronj1998.00021962009000010015x.
39. CERNAY C., MAKOWSKI D., PELZER E. (2018): Preceding cultivation of grain legumes increases cereal yields under low nitrogen input conditions. *Environmental Chemistry Letters*. 16, 631-636 p. doi: 10.1007/s10311-017-0698-z.
40. CONNELL J. H. (1983): On the prevalence and relative importance of interspecific competition: evidence from field experiments. *The American Naturalist*. 122 (5), 661-696 p. doi: 10.1086/284165.
41. CONNOLLY J., WAYNE P., MURRAY R. (1990): Time course of plant-plant interactions in experimental mixtures of annuals: density, frequency, and nutrient effects. *Oecologia*. 82, 513-526 p. doi: 10.1007/BF00319795.
42. CONNOLLY J., GOMA H. C., RAHIM K. (2001): The information content of indicators in intercropping research. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 87, 191-207 p. doi: 10.1016/S0167-8809(01)00278-x.

43. CORRE-HELLOU G., FUSTEC J., CROZAT Y. (2006): Interspecific competition for soil N and its interaction with N₂ fixation, leaf expansion and crop growth in pea-barley intercrops. *Plant and Soil*. 282, 195-208 p. doi: 10.1007/s11104-005-5777-4.
44. CORRE-HELLOU G., BRISSON N., LAUNAY M., FUSTEC J., CROZAT Y. (2007): Effect of root depth penetration on soil nitrogen competitive interactions and dry matter production in pea-barley intercrops given different soil nitrogen supplies. *Field Crops Research*. 103, 76-85 p. doi: 10.1016/j.fcr.2007.04.008.
45. CORRE-HELLOU G., DIBET A., HAUGGAARD-NIELSEN H., CROZAT Y., GOODING M., AMBUS P., DAHLMANN C., VON FRAGSTEIN P., PRISTERI A., MONTI M., JENSEN E. S. (2011): The competitive ability of pea-barley intercrops against weeds and the interactions with crop productivity and soil N availability. *Field Crops Research*. 122, 264-272 p. doi: 10.1016/j.fcr.2011.04.004.
46. CREWS T. E., PEOPLES M. B. (2004): Legume versus fertilizer sources of nitrogen: ecological tradeoffs and human needs. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 102, 279-297 p. doi: 10.1016/j.agee.2003.09.018.
47. DALAL R. C. (1974): Effects of intercropping maize with pigeon peas on grain yield and nutrient uptake. *Experimental Agriculture*. 10 (3), 219-224 p. doi: 10.1017/S0014479700000454.
48. DHIMA K. V., LITHOURGIDIS A. S., VASILAKOGLU I. B., DORDAS C. A. (2007): Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. *Field Crops Research*. 100, 249-256 p. doi: 10.1016/j.fcr.2006.07.008.
49. DIVÉKY-ERTSEY A., GÁL I., MADARAS K., PUSZTAI P., CSAMBALIK L. (2022): Contribution of pulses to agrobiodiversity in the view of EU protein strategy. *Stresses*. 2, 90-112 p. doi: 10.3390/stresses2010008.
50. DITZLER L., van APELDOORN D. F., PELLEGRINI F., ANTICHI D., BÁRBERI P., ROSSING W. A. H. (2021): Current research on the ecosystem service potential of legume inclusive cropping systems in Europe. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 41(26), 1-13 p. doi: 10.1007/s13593-021-00678-z.
51. DORDAS C. A., LITHOURGIDIS A., MATSI T., BARBAYIANNIS N. (2008): Application of liquid cattle manure and inorganic fertilizers affect dry matter, nitrogen accumulation, and partitioning in maize. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 80, 283-296 p. doi: 10.1007/s10705-007-9143-1.
52. DORDAS C. A., VLACHOSTERGIOS D. N., LITHOURGIDIS A. S. (2012): Growth dynamics and agronomic-economic benefits of pea-oat and pea-barley intercrops. *Crop & Pasture Science*. 63, 45-52 p. doi: 10.1071/CP11181.
53. DORÉ T., MEYNARD J. M., SEBILLOTE M. (1998): The role of grain number, nitrogen nutrition and stem number in limiting pea crop (*Pisum sativum*) yields under agricultural conditions. *European Journal of Agronomy*. 8, 29-37 p. doi: 10.1016/S1161-0301(97)00006-3.
54. DUCHENE O., VIAN J-F., CELETTE F. (2017): Intercropping with legume for agroecological cropping systems: Complementarity and facilitation processes and the importance of soil microorganisms. A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 240, 148-161 p. doi: 10.1016/j.agee.2017.02.019.
55. FEIKE T., DOLUSCHITZ R., CHEN Q., GRAEFF-HÖNNINGER S., CLAUPEIN W. (2012): How to overcome the slow death of intercropping in the North China Plain. *Sustainability*. 4, 2550-2565 p. doi: 10.3390/su4102550.

56. FRIDLEY J. D. (2002): Resource availability dominates and alters the relationship between species diversity and ecosystem productivity in experimental plant communities. *Oecologia*. 132, 271-277 p. doi: 10.1007/s00442-002-0965-x.
57. FUJITA K., OFOSU-BUDU K. G., OGATA S. (1992): Biological nitrogen fixation in mixed legume-cereal cropping systems. *Plant and Soil*. 141, 155-175 p. doi: 10.1007/BF00011315.
58. FUKAI S., TRENBATH B. R. (1993): Processes determining intercrop productivity and yields of component crops. *Field Crops Research*. 34 (3-4), 247-271 p. doi: 10.1016/0378-4290(93)90117-6.
59. FUSTEC J., LESUFFLEUR F., MAHIEU S., CLIQUET J-B. (2010): Nitrogen rhizodeposition of legumes. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 30, 57-66 p. doi:10.1051/agro/2009003.
60. LOCH J. (1999): A trágyázás agrokémiai alapjai. 232-233 p. In: FÜLEKY GY. (Szerk.) Tápanyag-gazdálkodás. Budapest: Mezőgazda Kiadó, 714.
61. GAÁL M., QUIROGA S., FERNANDEZ-HADDAD Z. (2014): Potential impacts of climate change on agricultural land use suitability of the Hungarian counties. *Regional Environmental Change*. doi: 10.1007/s10113-013-0518-3.
62. GABA S., LESCOURRET F., BOUDSOCQ S., ENJALBERT J., HINSINGER P., JOURNET E-P., NAVAS M-L., WERY J., LOUARN G., MALÉZIEUX E., ET AL. (2015): Multiple cropping systems as drivers for providing multiple ecosystem services: from concepts to design. *Agronomy for Sustainable Development*. 35, 607-623 p. doi: 10.1007/s13593-014-0272-z.
63. GARRIDO-LESTACHE E., LÓPEZ-BELLIDÓ R. J., LÓPEZ-BELLIDÓ L. (2004): Effect of N rate, timing and splitting and N type on bread-making quality in hard red spring wheat under rainfed Mediterranean conditions. *Field Crops Research*. 85 (2-3), 213-236 p. doi: 10.1016/S0378-4290(03)00167-9.
64. GHALEY B. B., HAUGGAARD-NIELSEN H., HOGH-JENSEN H., JENSEN E. S. (2005): Intercropping of wheat and pea as influenced by nitrogen fertilization. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 73, 201-212 p. doi: 10.1007/s10705-005-2475-9.
65. GHOSH P. K. (2004): Growth, yield, competition and economics of groundnut/cereal fodder intercropping systems in the semi-arid tropics of India. *Field Crops research*. 88, 227-237 p. doi: 10.1016/j.fcr.2004.01.015.
66. GOLLNER G., STARZ W., FRIEDEL J. K. (2019): Crop performance, biological N fixation and pre-crop effect of pea ideotypes in an organic farming system. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 115, 391-405 p. doi: 10.1007/s10705-019-10021-4.
67. GONZÁLEZ A. M., PESQUEIRA A. M., GARCÍA L, SANTALLA M. (2023): Effects of photoperiod and drought on flowering and growth development of protein-rich legumes under Atlantic environments. *Agronomy*. 13, 1025. doi: 10.3390/agronomy13041025.
68. GOODING M. J., KASYANOVA E., RUSKE R., HAUGGAARD-NIELSEN H., JENSEN E. S., DAHLMANN C., VON FRAGSTEIN P., DIBET A., CORRE-HELLOU G., CROZAT Y. ET AL. (2007): Intercropping with pulses to concentrate nitrogen and sulphur in wheat. *Journal of Agricultural Science*. 145, 469-479 p. doi: 10.1017/S0021859607007241.
69. GUIDUCCI M., TOSTI G., FALCINELLI B., BENINCASA P. (2018): Sustainable management of nitrogen nutrition in winter wheat through temporary intercropping with legumes. *Agronomy for Sustainable Development*. 38:31. doi: 10.1007/s13593-018-0509-3.

70. GUILIONI L., WÉRY J., LECOEUR J. (2003): High temperature and water deficit may reduce seed number in field pea purely by decreasing plant growth rate. *Functional Plant Biology*. 30, 1151-1164 p. doi: 10.1071/FP03105.
71. GUINET M., NICOLARDOT B., REVELLIN C., DUREY V., CARLSSON G., VOISIN A-S. (2018): Comparative effect of inorganic N on plant growth and N₂ fixation of ten legume crops: towards a better understanding of the differential response among species. *Plant and Soil*. 432, 207-227 p. doi: 10.1007/s11104-018-3788-1.
72. HAUGGAARD-NIELSEN H., JENSEN E. S. (2001): Evaluating pea and barley cultivars for complementarity in intercropping at different levels of soil N availability. *Field Crops Research*. 72, 185-196 p. doi: 10.1016/S0378-4290(01)00176-9.
73. HAUGGAARD-NIELSEN H., JENSEN E. S. (2005): Facilitative root interactions in intercrops. *Plant and Soil*. 274, 237-250 p. doi: 10.1007/s11104-004-1305-1.
74. HAUGGAARD-NIELSEN H., AMBUS P., JENSEN E. S. (2001a): Temporal and spatial distribution of roots and competition for nitrogen in pea-barley intercrops—a field study employing ³²P technique. *Plant and Soil*. 236, 63-74 p. doi: 10.1023/A:1011909414400.
75. HAUGGAARD-NIELSEN H., AMBUS P., JENSEN E. S. (2001b): Interspecific competition, N use and interference with weeds in pea-barley intercropping. *Field Crops Research*. 70, 101-109 p. doi: 10.1016/S0378-4290(01)00126-5.
76. HAUGGAARD-NIELSEN H., AMBUS P., JENSEN E. S. (2003): The comparison of nitrogen use and leaching in sole cropped versus intercropped pea and barley. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 65, 289-300 p. doi: 10.1023/A:1022612528161.
77. HAUGGAARD-NIELSEN H., ANDERSEN M. K., JORNSGAARD B., JENSEN E. S. (2006): Density and relative frequency effects on competitive interactions and resource use in pea-barley intercrops. *Field Crops Research*. 95, 256-267 p. doi: 10.1016/j.fcr.2005.03.003.
78. HAUGGAARD-NIELSEN H., JORNSGAARD B., KINANE J., JENSEN E. S. (2008): Grain legume-cereal intercropping: The practical application of diversity, competition and facilitation in arable and organic cropping systems. *Renewable Agricultural and Food Systems*. 23 (1), 3-12 p. doi: 10.1017/S1742170507002025.
79. HAUGGAARD-NIELSEN H., GOODING M., AMBUS P., CORRE-HELLOU G., CROZAT Y., DAHLMANN C., DIBET A., VON FRAGSTEIN P., PRISTERI A., MONTI M., JENSEN E. S. (2009a): Pea-barley intercropping for efficient symbiotic N₂-fixation, soil N acquisition and use of other nutrients in European organic cropping systems. *Field Crops Research*. 113, 64-71, p. doi: 10.1016/j.fcr.2009.04.009.
80. HAUGGAARD-NIELSEN H., GOODING M., AMBUS P., CORRE-HELLOU G., CROZAT Y., DAHLMANN C., DIBET A., VON FRAGSTEIN P., PRISTERI A., MONTI M., JENSEN E. S. (2009b): Pea-barley intercropping and short-term subsequent crop effects across European organic cropping conditions. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 85, 141-155 p. doi:10.1007/s10705-009-9254-y.
81. HAUGGAARD-NIELSEN H., LACHOUANI P., KNUDSEN M. T., AMBUS P., BOELT B., GISLUM R. (2016): Productivity and carbon footprint of perennial grass-forage legume intercropping strategies with high or low nitrogen fertilizer input. *Science of the Total Environment*. 541, 1139-1347 p. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.10.013.
82. HERRIDGE D. F., MARCELLOS H., FELTON W. L., TURNER G. L., PEOPLES M. B. (1995): Chickpea increases soil-N fertility in cereal systems through nitrate sparing and N₂ fixation. *Soil Biology and Biochemistry*. 27 (4-5), 545-551 p. doi: 10.1016/0038-0717(95)98630-7.

83. HUSS C. P., HOLMES K. D., BLUBAUGH C. K. (2022): Benefits and risks of intercropping for crop resilience and pest management. *Journal of Economic Entomology*. 115 (5), 1350-1362 p. doi: 10.1093/jee/toac045.
84. IANNUCCI A., TERRIBILE M. R., MARTINIELLO P. (2008): Effect of temperature and photoperiod on flowering time of forage legumes in a Mediterranean environment. *Field Crops Research*. 106, 156-162 p. doi: 10.1016/j.fcr.2007.11.005.
85. ILINA S., IVANOVA I., FADEEV A. (2021): Effectiveness of herbicide treatment on pea crops. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 839 (2), 022030. doi: 10.1088/1755-1315/839/2/022030.
86. INNES P., BLACKWELL R. D. (1981): The effect of drought on the water use and yield of two spring wheat genotypes. *The Journal of Agricultural Science*. 96 (3), 603-610 p. doi: 10.1017/S0021859600034584.
87. IZAURRALDE R. C., JUMA N. G., MCGILL W. B. (1990): Plant and nitrogen yield of barley-field pea intercrop in Cryoboreal-Subhumid Central Alberta. *Agronomy Journal*. 82 (2), 295-301 p. doi: 10.2134/agronj1990.00021962008200020024x.
88. JENSEN P. K. (1992): Split application of herbicides in peas. *Weed Research*. 32 (4), 295-302 p. doi: 10.1111/j.1365-3180.1992.tb01889.x.
89. JENSEN E. S. (1996a): Grain yield, symbiotic N₂ fixation and interspecific competition for inorganic N in pea-barley intercrops. *Plant and Soil*. 182, 25-38 p. doi: 10.1007/BF00010992.
90. JENSEN E. S. (1996b): Compared cycling in a soil-plant system of pea and barley residue nitrogen. *Plant and Soil*. 182, 13-23 p. doi: 10.1007/BF00010991.
91. JENSEN E. S., HAUGGAARD-NIELSEN H. (2003): How can increased use of biological N₂ fixation in agriculture benefit the environment? *Plant and Soil*. 252, 177-186 p. doi: 10.1023/A:1024189029226.
92. JENSEN E. S., PEOPLES M. B., BODDEY R. M., GRESSHOFF P. M., HAUGGAARD-NIELSEN H., ALVES B. J. R., MORRISON M. J. (2012): Legumes for mitigation of climate change and the provision of feedstock for biofuels and biorefineries. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 32, 329-364 p. doi: 10.1007/s13593-011-0056-7.
93. JENSEN E. S., CARLSSON G., HAUGGAARD-NIELSEN H. (2020): Intercropping of grain legumes and cereals improves the use of soil N resources and reduces the requirement for synthetic fertilizer N: A global-scale analysis. *Agronomy for Sustainable Development*. 40:5. doi: 10.1007/s13593-020-0607-x.
94. JIANG Y., DAVIS A. R., VUJANOVIC V., BUECKERT R. A. (2019): Reproductive development response to high daytime temperature in field pea. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 205 (3), 324-333 p. doi: 10.1111/jac.12328.
95. JIANG Y., LINDSAY D. L., DAVIS A. R., WANG Z., MACLEAN D. E., WARKENTIN T. D., BUECKERT R. A. (2020): Impact of heat stress on pod-based yield components in field pea (*Pisum sativum* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science*. 206 (1), 76-89 p. doi: 10.1111/jac.12365.
96. JOLÁNKAI M., BIRKÁS M. (2007): Global Climate Change Impacts on Crop Production in Hungary. *Agriculturae Conspectus Scientificus*. 72 (1), 17-20 p.
97. JUSTES E., BEDOUSSAC L., DORDAS C., FRAK E., LOUARN G., BOUDSOCQ S., JOURNET E-P., LITHOURGIDIS A., PANKOU C., ZHANG C. ET AL. (2021): The 4C approach as a way to understand species interactions determining intercropping productivity. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*. 8 (3), 387-399 p. doi: 10.15302/J-FASE-2021414.

98. KARKANIS A., NTATSI G., KONTOPOULOU C-K., PRISTERI A., BILALIS D., SAVVAS D. (2016): Field pea in European cropping systems: adaptability, biological nitrogen fixation and cultivation practices. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 44 (2), 325-336 p. doi: 10.15835/nbha44210618.
99. KHERIF O., SEGHOUBANI M., ZEMMOURI B., BOUHENACHE A., KESKES M. I. YACER-NAZIH R., OUARET W., LATATI M. (2021): Understanding the response of wheat-chickpea intercropping to nitrogen fertilization using agro-ecological competitive indices under contrasting pedoclimatic conditions. *Agronomy*. 11, 1225. doi: 10.3390/agronomy11061225.
100. KINANE J., LYNGKJAER M. F. (2002): Effect of barley-legume intercrop on disease frequency in an organic farming system. *Plant Protection Science*. 38 (1), 227-231 p. doi: 10.17221/10360-PPS.
101. KISMÁNYOKY T. (2005): Hüvelyesek. 105-106, 111-112, 115, 117 p. In: ANTAL (Szerk.): *Növénytermesztés* 2. Budapest, Mezőgazda Kiadó, 595 p.
102. KISS Á. (Szerk.) (1980): A borsó termesztése. Budapest: Mezőgazdasági Kiadó, 28, 33-34, 43-44, 79-80 p.
103. KNUDSEN M. T., HAUGGAARD-NIELSEN H., JORNSGARD B., JENSEN E. S. (2004): Comparison of interspecific competition and N use in pea–barley, faba bean–barley and lupin–barley intercrops grown at two temperate locations. *Journal of Agricultural Science*. 142, 617-627 p. doi: 10.1017/S0021859604004745.
104. KSIEZAK J., STANIAK M., STALENGA J. (2023): Restoring the importance of cereal-grain legume mixtures in low-input farming systems. *Agriculture*. 13, 341. doi: 10.3390/agriculture13020341.
105. KURNIK E. (1970): Étkezési és abraktakarmány-hüvelyesek termesztése. Budapest: Akadémiai Kiadó, 85-87, 95-96 p.
106. LAMICHANEY A., PARIHAR A. K., HAZRA K. K., DIXIT G. P., KATIYAR P. K., SINGH D., SINGH A. K., KUMAR N., SINGH N. P. (2021): Untangling the influence of heat stress on crop phenology, seed set, seed weight, and germination in field pea (*Pisum sativum* L.). *Frontiers in Plant Science*. 12:635868. doi: 10.3389/fpls.2021.635868.
107. LANCASHIRE P. D., LANGELOUDECKE P., STAUSS R., van den BOOM T., WEBER E., WITZENBERGER A. (1991): A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. *Annals of Applied Biology*. 119 (3), 561-601 p.
108. LARMURE A., MUNIER-JOLAIN N. G. (2019): High temperatures during the seed-filling period decrease seed nitrogen amount in pea (*Pisum sativum* L.): Evidence for a sink limitation. *Frontiers in Plant Science*. 10:1608. doi: 10.3389/fpls.2019.01608.
109. LEMERLE D., VERBEEK B., DIFFEY S. (2006): Influences of field pea (*Pisum sativum* L.) density on grain yield and competitiveness with annual ryegrass (*Lolium rigidum*) in south-eastern Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 46 (11), 1465-1472 p. doi: 10.1071/EA04233.
110. LENGWATI D. M., MATHEWS C., DAKORA F. D. (2020): Rotation benefits from N₂-fixing grain legumes to cereals: from increases in seed yield and quality to greater household cash-income by a following maize crop. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 4:94. doi: 10.3389/fsufs.2020.00094.
111. LIEBMAN M., DYCK E. (1993): Crop rotation and intercropping strategies for weed management. *Ecological Applications*. 3 (1), 92-122 p. doi: 10.2307/1941795.
112. LIMAUX F., RECOUS S., MEYNARD J-M., GUCKERT A. (1999): Relationship between rate of crop growth at date of fertilizer N application and fate of fertilizer N applied to winter wheat. *Plant and Soil*. 214: 45-59 p. doi: 10.1023/A:1004629511235.

113. LITHOURDIDIS A. S., DORDAS C. A., DAMALAS C. A., VLACHOSTERGIOS D. N. (2011a): Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture. *Australian Journal of Crop Science*. 5 (4), 396-410 p. doi: 10.3316/informit.281409060336481.
114. LITHOURGIDIS A. S., VLACHOSTERGIOS D. N., DORDAS C. A., DAMALAS C. A. (2011b): Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea-cereal intercropping systems. *European Journal of Agronomy*. 34, 287-294 p. doi: 10.1016/j.eja.2011.02.007.
115. LOPES T., HATT S., XU Q., CHEN J., LIU Y., FRANCIS F. (2016): Wheat (*Triticum aestivum* L.)-based intercropping systems for biological pest control. *Pest Management Science*. 72 (12), 2193-2202 p. doi: 10.1002/ps.4332.
116. LOUARN G., BEDOUSSAC L., GAUDIO N., JOURNET E-P., MOREAU D., JENSEN E. S., JUSTES E. (2021): Plant nitrogen nutrition status in intercrops—a review of concepts and methods. *European Journal of Agronomy*. 124, 126229. doi: 10.1016/j.eja.2021.126229.
117. MAGRINI M-B., ANTON M., CHOLEZ C., CORRE-HELLOU G., DUC G., JEUFFROY M-H., MEYNARD J-M., PELZER E., VOISIN A-S., WALRAND S. (2016): Why are grain-legumes rarely present in cropping systems despite their environmental and nutritional benefits? Analysing lock-in in the French agrifood system. *Ecological Economics*. 126, 152-162 p. doi: 10.1016/j.ecolecon.2016.03.024.
118. MAITRA S., HOSSAIN A., BRESTIC M., SKALICKY M., ONDRISIK P., GITARI H., BRAHMACHARI K., SHANKAR T., BHADRA P., PALAI J. B., JENA J., BHATTACHARYA U., DUVVADA S. K., LALICHETTI S., SAIRAM M. (2021): Intercropping—a low input agricultural strategy for food and environmental security. *Agronomy*. 11, 343. doi: 10.3390/agronomy11020343.
119. MALAGOLI P., NAUDIN C., VRIGNON-BRENAS S., SESTER M., JEUFFROY M-H., CORRE-HELLOU G. (2020): Modelling nitrogen and light sharing in pea-wheat intercrops to design decision rules for N fertilization according to farmer's expectations. *Field Crops Research*. 255, 107865. doi: 10.1016/j.fcr.2020.107865.
120. MALÉZIEUX E., CROZAT Y., DUPRAZ C., LAURANS M., MAKOWSKI D., OZIER-LAFONTAINE H., RAPIDEL B., de TOURDONNET S., VALANTIN-MORISON M. (2009): Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 29, 43-62 p. doi: 10.1051/agro:2007057.
121. MAMINE F., FARÉS M. (2020): Barriers and levers to developing wheat-pea intercropping in Europe: A review. *Sustainability*. 12 (17), 6962. doi: 10.3390/su12176962.
122. MEIER U. (2001): Growth stages of Mono-and Dicotyledonous Plants-BBCH Monograph, 2nd edition; Federal Research Centre for Agricultural and Forestry: Berlin, Germany, Branachweig, Germany, 138-140 p.
123. MIDMORE D. J. (1993): Agronomic modification of resource use and intercrop productivity. *Field Crops Research*. 34, 357-380 p. doi: 10.1016/0378-4290(93)90122-4.
124. MIKIC A., MIHAILOVIC V., CUPINA B., ĐORDEVIC V., MILIC D., DUC G., STODDARD F. L., LEJEUNE-HÉNAUT I., MARGET P., HANOCQ E. (2011): Achievements in breeding autumn-sown annual legumes for temperate regions with emphasis on the continental Balkans. *Euphytica*. 180, 57-67 p. doi: 10.1007/s10681-011-0453-7.

125. MOHLER C. L., LIEBMAN M. (1987): Weed productivity and composition in sole crops and intercrops of barley and field pea. *Journal of Applied Ecology*. 24 (2), 685-699 p. doi: 10.2307/2403903.
126. MOHTA N. K., DE R. (1980): Intercropping maize and sorghum with soya beans. *The Journal of Agricultural Science*. 95 (1), 117-122 p. doi: 10.1017/S0021859600029348.
127. MONTI M., PELLICANÓ A., SANTONOCETO C., PREITI G., PRISTERI A. (2016): Yield components and nitrogen use in cereal-pea intercrops in Mediterranean environment. *Field Crops Research*. 196, 379-388 p. doi:10.1016/j.fcr.2016.07.017.
128. MONTI M., PELLICANÓ A., PRISTERI A., BADAGLIACCA G., PREITI G., GELSOMINO A. (2019): Cereal/grain legume intercropping in rotation with durum wheat in crop/livestock production systems for Mediterranean farming system. *Field crops Research*. 240, 23-33 p. doi: 10.1016/j.fcr.2019.05.019.
129. MOORE V. M., SCHLAUTMAN B., FEI S-Z., ROBERTS L. M., WOLFE M., RYAN M. R., WELLS S., LORENZ A J. (2022): Plant breeding for intercropping in temperate field crop systems: A review. *Frontiers in Plant Science*. 13:843065. doi: 10.3389/fpls.2022.843065.
130. NAGY J. (2000): A zöldborsó. Budapest: Dinasztia Kiadó. 24, 54-55 p.
131. NAUDIN C., AVELINE A., CORRE-HELLOU G., DIBET A., JEUFFROY M-H., CROZAT Y. (2009): Agronomic analysis of the performance of spring and winter cereal-legume intercrops in organic farming. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 3 (10), 17-28 p.
132. NAUDIN C., CORRE-HELLOU G., PINEAU S., CROZAT Y., JEUFFROY M-H. (2010): The effect of various dynamics of N availability on winter pea-wheat intercrops: crop growth, N partitioning and symbiotic N₂ fixation. *Field Crops Research*. 119, 2-11 p. doi: 10.1016/j.fcr.2010.06.002.
133. NAUDIN C., van der WERF H. M. G., JEUFFROY M-H., CORRE-HELLOU G. (2014): Life cycle assessment applied to pea-wheat intercrops: A new method for handling the impacts of co-products. *Journal of Cleaner Production*. 73, 80-87 p. doi: 10.1016/j.jclepro.2013.12.029.
134. NELSON W. C. D., SIEBRECHT-SCHÖLL D. J., HOFFMANN M. P., RÖTTER R. P., WHITBREAD A. M., LINK W. (2021): What determines a productive winter bean-wheat genotype combination for intercropping in central Germany? *European Journal of Agronomy*. 128, 126294. doi: 10.1016/j.eja.2021.126294.
135. NEUGSCHWANDTNER R. W., BERNHUBER A., KAMMLANDER S., WAGENTRISTL H., KLIMEK-KOPYRA A., KAUL H-P. (2019): Agronomic potential of winter grain legumes for Central Europe: development, soil coverage and yields. *Field Crops Research*. 241, 107576. doi: 10.1016/j.fcr.2019.107576.
136. NEUGSCHWANDTNER R. W., BERNHUBER A., KAMMLANDER S., WAGENTRISTL H., KLIMEK-KOPYRA A., KAUL H-P. (2020): Yield structure components of autumn- and spring-sown pea (*Pisum sativum* L.). *Acta Agriculturae Scandinavica–Soil & Plant Science*. 70 (2), 109-116 p. doi: 10.1080/09064710.2019.1676463.
137. NEUMANN A., SCHMIDTKE K., RAUBER R. (2006): Effect of crop density and tillage system on grain yield and N uptake from soil and atmosphere of sole and intercropped pea and oat.
138. NEUMANN A., SCHMIDTKE K., RAUBER R. (2007): Effects of crop density and tillage system on grain yield and N uptake from soil and atmosphere of sole and

- intercropped pea and oat. *Field Crops Research*. 100 (2-3), 285-293 p. doi: 10.1016/j.fcr.2006.08.001.
139. PANKOU C., LITHOURGIDIS A., DORDAS C. (2021): Effect of irrigation on intercropping systems of wheat (*Triticum aestivum* L.) with pea (*Pisum sativum* L.). *Agronomy*. 11, 283 p. doi: 10.3390/agronomy11020283.
 140. PANKOU C., LITHOURGIDIS A., MENEXES G., DORDAS C. (2022): Importance of selection of cultivars in wheat-pea intercropping systems for high productivity. *Agronomy*. 12, 2367. doi: 10.3390/agronomy12102367.
 141. PARIHAR A. K., HAZRA K. K., LAMICHANEY A., DIXIT G. P., SINGH D., SINGH A. K., SINGH N. P. (2022): Characterizing plant trait(s) for improved heat tolerance in field pea (*Pisum sativum* L.) under subtropical climate. *International Journal of Biometeorology*. 66: 1267-1281 p. doi: 10.1007/s00484-022-02275-5.
 142. PELZER E., BAZOT M., MAKOWSKI D., CORRE-HELLOU G., NAUDIN C., AL RIFÄI M., BARANGER E., BEDOUSSAC L., BIARNÉS V., BOUCHENY P., CARROUÉE B., DORVILLEZ D., FOISSY D., GAILLARD B., GUICHARD L., MANSARD M-C., OMON B., PRIEUR L., YVERGNIAUX M., JUSTES E., JEUFFROY M-H. (2012): Pea-wheat intercrops in low-input conditions combine high economic performances and low environmental impacts. *European Journal of Agronomy*. 40, 39-53 p. doi: 10.1016/j.eja.2012.01.010.
 143. PELZER E., BAZOT M., GUICHARD L., JEUFFROY M-H. (2016): Crop management affects the performance of a winter pea-wheat intercrop. *Agronomy Journal. Crop Economics, Production & Management*. 108 (3), 1089-1100 p. doi: 10.2134/agronj2015.0440.
 144. PEOPLES M. B., BROCKWELL J., HERRIDGE D. F., ROCHESTER I. J., ALVES B. J. R., URQUIAGA S., BODDEY R. M., DAKORA F. D., BHATTARAI S., MASKEY S. L. ET AL. (2009): The contributions of nitrogen-fixing crop legumes to the productivity of agricultural systems. *Symbiosis*. 48, 1-17 p. doi: 10.1007/BF03179980.
 145. PEPÓ P. (2022): Gabonafélék. 24-25, 28, 30 p. In: PEPÓ P. (Szerk.): Integrált Növénytermesztés 2., Alapnövények. Debrecen: Debreceni Egyetemi kiadó. 357 p.
 146. PEPÓ P., SÁRVÁRI M. (2011): Gabonanövények Termesztése, Agrármérnöki MsC szak Tananyagfejlesztése; TÁMOP-4.1.2-08/1/A-2000-0010 projekt; Debreceni Egyetem: Debrecen, 3, 22 p.
 147. POGGIO S. L. (2005): Structure of weed communities occurring in monoculture and intercropping of field pea and barley. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 109, 48-58 p. doi: 10.1016/j.agee.2005.02.019.
 148. POGGIO S. L., SATORRE E. H., DETHIOU S., GONZALO G.M. (2005) Pod and seed numbers as a function of photothermal quotient during the seed set period of field pea (*Pisum sativum*) crops. *European Journal of Agronomy*. 22 (1), 55–69 p. doi: 10.1016/j.eja.2003.12.003.
 149. POPP J., FÁRI M., ANTAL G., HARANGI-RÁKOS M. (2015): A fehérjetakarmány-piac kilátásai az EU-ban, különös tekintettel Magyarország fehérjeigényének kielégítésére. *Scientific Journal on Agricultural Economics*. 59 (5), 401-421 p. doi: 10.22004/ag.econ.253431.
 150. PORTER J. R., GAWITH M. (1999): Temperatures and the growth and development of wheat: a review. *European Journal of Agronomy*. 10 (1), 23-36 p. doi: 10.1016/S1161-0301 (98) 00047-1.

151. PREISSEL S., RECKLING M., SCHLÄFKE N., ZANDER P. (2015): Magnitude and farm-economic value of grain legume pre-crop benefits in Europe: A review. *Field Crops Research*. 175, 64-79 p. doi: 10.1016/j.fcr.2015.01.012.
152. RAHMAN M. A., CHIKUSHI J., YOSHIDA S., KARIM A. J. M. S. (2009): Growth and yield components of wheat genotypes exposed to high temperature stress under control environment. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*. 34 (3), 361-372 p. doi: 10.3329/bjar.v34i3.3961.
153. RAUBER R., SCHMIDTKE K., KIMPEL-FREUND H. (2001): The performance of pea (*Pisum sativum* L.) and its role in determining yield advantages in mixed stands of pea and oat (*Avena sativa* L.). *Journal of Agronomy & Crop Science*. 187, 137-144 p. doi: 10.1046/j.1439-037X.2001.00508.x.
154. RAZA M. A., ZHIQI W., YASIN H. S., GUL H., QIN R., REHMAN S. U., MAHMOOD A., IQBAL Z., AHMED Z., LUO S., JUAN C., LIANG X., GITARI H., KHALID M. H. B., FENG Y., ZHONGMING M. (2023): Effect of crop combination on yield performance, nutrient uptake, and land use advantage of cereal/legume intercropping systems. *Field Crops Research*. 304, 109144. doi: 10.1016/j.fcr.2023.109144.
155. RUBIALES D., ANNICCHIARICO P., VAZ PATTO M. C., JULIER B. (2021): Legume breeding for the agroecological transition of global agri-food systems: A European perspective. *Frontiers in Plant Science*. 12:782574. doi: 10.3389/fpls.2021.782574.
156. SADRAS V. O., LAKE L., LEONFORTE A., McMURRAY L. S., PAULL J. G. (2013): Screening field pea for adaptation to water and heat stress: Associations between yield, crop growth rate and seed abortion. *Field Crops Research*. 150, 63-73 p. doi: 10.1016/j.fcr.2013.05.023.
157. SANDANA P., CALDERINI D. F. (2012): Comparative assessment of the critical period for grain yield determination of narrow-leaved lupin and pea. *European Journal of Agronomy*. 40, 94-101 p. doi: 10.1016/j.eja.2012.02.009.
158. SAMARAH N. H. (2005): Effects of drought stress on growth and yield of barley. *Agronomy for Sustainable Development*. 25, 145-149. p. doi: 10.1051/agro:2004064.
159. SAMARAH N. H., ALQUDAH A. M., AMAYREH J. A., McANDREWS G. M. (2009): The effect of late-terminal drought stress on yield components of four barley cultivars. 195 (6), 427-441 p. doi: 10.1111/j.1439-037X.2009.00387.x.
160. SÁRVÁRI M. (2022): Hüvelyesek. 116, 119, 130 p. In: PEPÓ P. (Szerk.): Integrált Növénytermesztés 2., Alapnövények. Debrecen: Debreceni Egyetemi kiadó. 357 p.
161. SCALISE A., TORTORELLA D., PRISTERI A., PETROVICOVÁ B., GELSOMINO A., LINDSTRÖM K., MONTI M. (2015): Legume-barley intercropping stimulates soil N supply and crop yield in the succeeding durum wheat in a rotation under rainfed conditions. *Soil Biology & Biochemistry*. 89, 150-161 p. doi: 10.1016/j.soilbio.2015.07.003.
162. SCHOENY A., JUMEL S., ROUAULT F., LEMARCHAND E., TIVOLI B. (2010): Effect and underlying mechanisms of pea-cereal intercropping on the epidemic development of ascochyta blight. *European Journal of Plant Pathology*. 126 (3), 317-331 p. doi: 10.1007/s10658-009-9548-6.
163. SHAH N. H., PAULSEN G. M. (2003): Interaction of drought and high temperature on photosynthesis and grain-filling of wheat. *Plant and Soil*. 257:219-226 p. doi: 10.1023/A:1026237816578.
164. SHEN Y., JOHNSON E. N., SYROVY L. D., WARKENTIN T. D., DEVINI D. S., SHIRTLIFFE S. J. (2022): Evaluation of yield and agronomic performance of leafed and semi-leafless pea blends. *Agronomy Journal*. 114, 2762-2773 p. doi: 10.1002/agj2.21134.

165. SITA K., SEHGAL A., HANUMANTHARAO B., NAIR, R. M., VARA PRASAD P. V., KUMAR S., GAUR P. M., FAROOQ M., SIDDIQUE K. H. M., VARSHNEY R. K., NAYYAR H. (2017): Food legumes and rising temperatures: effects, adaptive functional mechanisms specific to reproductive growth stage and strategies to improve heat tolerance. *Frontiers in Plant Science*. 8: 1658. doi: 10.3389/fpls.2017.01658.
166. SMIL V. (2002): Biofixation and nitrogen in the biosphere and in global food production. In: FINAN T., O'BRIEN M., LAYZELL D., VESSEY K., NEWTON W. (Eds.), *Nitrogen fixation: global Perspectives*. CAB International, UK. 7-9 p. ISBN: 0 85199 595 0.
167. SVÁB J. (1962): Trágyázási és egyéb agrotechnikai kísérletek értékelése kumulatív terméselemzéssel. *Agrokémia és Talajtan*. 11 (2), 219-236 p.
168. SYROVY L. D., BANNIZA S., SHIRTLIFFE S. J. (2015): Yield and agronomic advantages of pea leaf type mixtures under organic management. *Agronomy Journal*. 107 (1), 113-120 p. doi: 10.2134/agronj14.0218.
169. TAFESSE E. G., WARKENTIN T. D., BUECKERT R. A. (2019): Canopy architecture and leaf type as traits of heat resistance in pea. *Field Crops Research*. 241, 107561. doi: 10.1016/j.fcr.2019.107561.
170. TAMBURINI G., BOMMARCO R., WANGER T. C., KREMEN C., VAN DER HEIJDEN M. G. A., LIEBMAN M., HALLIN S. (2020): Agricultural diversification promotes multiple ecosystem services without compromising yield. *Science Advances*. 6 (45), eaba1715. doi: 10.1126/sciadv.aba1715.
171. THILAKARATHNA M. S., McELROY M. S., CHAPAGAIN T., PAPADOPOULOS Y. A., RAIZADA M. N. (2016): Belowground nitrogen transfer from legumes to non-legumes under managed herbaceous cropping systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 36:58. doi:10.1007/s13593-016-0396-4.
172. TOSTI G., GUIDUCCI M. (2010): Durum wheat-faba bean temporary intercropping: effects on nitrogen supply and wheat quality. *European Journal of Agronomy*. 33, 157-165 p. doi: 10.1016/j.eja.2010.05.001.
173. TRAN C. T., BECKER H. C., HORNEBURG B. (2022): Agronomic performance of normal-leafed and semi-leafless pea (*Pisum sativum* L.) genotypes. *Crop Science*. 62 (4), 1430-1442 p. doi: 10.1002/csc2.20746.
174. TRENBATH B. R. (1993): Intercropping for the management of pests and diseases. *Field Crops Research*. 34, 381-405 p. doi: 10.1016/0378-4290(93)990123-5.
175. URBATZKA P., GRAß R., HAASE T., SCHÜLER C., TRAUTZ D., HEß J. (2011): Grain yield and quality characteristics of different genotypes of winter pea in comparison to spring pea for organic farming in pure and mixed stands. *Organic Agriculture*. 1, 187-202 p. doi: 10.1007/s13165-011-0015-2.
176. URBATZKA P., GRAß R., HAASE T., SCHÜLER C., HEß J. (2012): Influence of different sowing dates of winter pea genotypes on winter hardiness and productivity as either winter catch crop or seed legume. *European Journal of Agronomy*. 40, 112-119 p. doi: 10.1015/j.eja.2012.03.001.
177. VARA PRASAD, P. V., DJANAGUIRAMAN, M. (2014): Response of floret fertility and individual grain weight of wheat to high temperature stress: sensitive stages and thresholds for temperature and duration. *Functional Plant Biology*. 41, 1261-1269. p. doi: 10.1071/FP14061.
178. VASILAKOGLU I., VLACHOSTERGIOS D., DHIMA K., LITHOUGRIDIS A. (2013): Response of vetch, lentil, chickpea and red pea to pre- or post-emergence applied

- herbicides. *Spanish Journal of agricultural Research*. 11 (4), 1101-1111 p. doi:10.5424/sjar/2013114-4083.
179. VOISIN A-S., SALON C., MUNIER-JOLAIN N. G., NEY B. (2002): Quantitive effects of soil nitrate, growth potential and phenology on symbiotic nitrogen fixation of pea (*Pisum sativum* L.). *Plant and Soil*. 243, 31-42 p. doi: 10.1023/A:1019966207970.
 180. VOISIN A-S., GUÉGUEN J., HUYGHE C., JEUFFROY M-H., MAGRINI M-B., MEYNARD J-M., MOUGEL C., PELLERIN S., PELZER E. (2014): Legumes for feed, food, biomaterials and bioenergy in Europe: a review. *Agronomy for Sustainable Development*. 34, 361-380 p. doi: 10.1007/s13593-013-0189-y.
 181. WILLEY R. W. (1979): Intercropping– Its importance and research needs. Part 1. Competition and yield advantages. *Field Crop Abstracts*. 32 (1), 1-10.
 182. WILLEY R. W., RAO M. R. (1980): A competitive ratio for quantifying competition between intercrops. *Experimental Agriculture*. 16 (2), 117-125 p. doi: 10.1017/S0014479700010802.
 183. WILLEY R. W. (1990): Resource use in intercropping systems. *Agricultural Water Management*. 17, 215-231 p. doi: 10.1016/0378-3774(90)90069-B.
 184. WILLIAMS A. C., McCARTHY B. C. (2001): A new index of interspecific competition for replacement and additive designs. *Ecological Research*. 16, 29-40 p. doi: 10.1046/j.1440-1703.2001.00368.x.
 185. WILSON J. B. (1988): Shoot competition and root competition. *Journal of Applied Ecology*. 25 (1), 279-296 p. doi: 10.2307/2403626.
 186. WITZENBERGER A., HACK H., van den BOOM T. (1989): Erläuterungen zum BBCH-Dezimal-Code für die Entwicklungsstadien des Getreides-mit Abbildungen. *Gesunde Pflanzen*. 41, 384-388 p.
 187. YU Y., STOMPH T-J., MAKOWSKI D., ZHANG L., van der WERF W. (2016): A meta-analysis of relative crop yields in cereal/legume mixtures suggests options for management. *Field Crops Research*. 198, 269-279 p. doi: 10.1016/j.fcr.2016.08.001.
 188. ZANDER P., AMJATH-BABU T. S., PREISSEL S., RECKLING M., BUES A., SCHLÄFKE N., KUHLMAN T., BACHINGER J., UTHES S., STODDARD F., MURPHY-BOKERN D., WATSON C. (2016): Grain legume decline and potential recovery in European agriculture: a review. *Agronomy for Sustainable Development*. 36 (26), 1-20 p. doi: 10.1007/s13593-016-0365-y.
 189. ZHANG Q., LIU M., XU X., GUNINA A. (2022): Species-species interaction affects organic nitrogen uptake during intercropping of four important crop species: A useful index for selecting appropriate intercropping combination. *Rhizosphere*. 21, 100460. doi: 10.1016/j.rhisph.2021.100460.

Egyéb felhasznált források:

190. Internet 1: KSH adatbázis. http://ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0022.html
Lekérdezés időpontja: 2024.05.29
191. Internet 2: KSH adatbázis. https://www.ksh.hu/stadat_files/ara/hu/ara0015.html
Lekérdezés időpontja: 2024. 04.11
192. Internet 3: KSH adatbázis. https://www.ksh.hu/stadat_files/ara/hu/ara0013.html
Lekérdezés időpontja: 2024. 04.11
193. Internet 4: IBM Corp. IBM SPSS Statistics for Windows; Version 29.0.2.0; IBM Corp: Armonk, NY, USA, 2023. <https://www.ibm.com/support/pages/how-cite-ibm-spss-statistics-or-earlier-versions-spss> Lekérdezés időpontja: 2025.01.24

12.2. Melléklet 2.: A gazdasági mutatók statisztikai elemzése

Melléklet 2. 1. Táblázat: Gazdasági előny index (MAI) értékeinek átlaga és szórása 2021-ben GK Szilárd, Cellule és GK Csillag őszi búzafajta, valamint Aviron őszi borsó keverékvetése esetén különböző vetésarányok mellett

		Borsó vetésarány (Zpi)		
		50	75	100
Búza/Borsófajta	Búza vetésarány (Zwi)	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás
Cellule /Aviron	50	84163,89±21237,79	73480,61±53921,82	93329,67±69232,61
	75	120564,89±28816,08	26991,01±72864,20	47100,07±43898,84
	100	50113,12±45434,80	47402,72±85974,19	74023,63±102703,07
GK Csillag/Aviron	50	87867,52±53325,99	79145,55±95822,58	73421,29±84101,67
	75	80978,08±97281,75	77102,26±82148,11	81595,20±73075,20
	100	109653,91±87692,28	124265,50±44503,07	86695,45±93305,06
GK Szilárd/Aviron	50	99847,39±39562,20	83528,40±27596,81	106417,86±15604,95
	75	44346,60±47530,72	58173,02±41483,05	73482,14±37610,79
	100	78509,41±28084,92	78504,81±32544,77	75121,00±19030,72

A vizsgált faktorok egyike sem volt szignifikáns 2021-ben ($p > 0,05$).

Melléklet 2. 2. táblázat: Gazdasági előny index (MAI) értékeinek átlaga és szórása 2022-ben GK Szilárd, Cellule és GK Csillag őszi búzafajta, valamint Aviron őszi borsó keverékvetése esetén különböző vetésarányok mellett

		Borsó vetésarány (Zpi)		
		50	75	100
Búza/Borsófajta	Búza vetésarány (Zwi)	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás
Cellule /Aviron	50	69487,84±104287,51	162343,48±63520,11b	139693,74±88335,13b
	75	191986,74±113902,80	167768,69±72906,52b	91589,47±91577,63
	100	147933,53±130478,01	101436,09±55864,88	93268,12±71201,61
GK Csillag/Aviron	50	72261,64±31435,44	32703,01±45609,18a	11224,59±30745,14a
	75	58273,65±46945,18	44786,12±24744,39a	20365,32±48463,04
	100	15709,95±61970,92	31350,04±35500,19	15717,05±33090,28
GK Szilárd/Aviron	50	165474,53±53788,48	103058,89±63918,41ab	123969,66±59040,17ab
	75	101761,16±33290,74	79421,20±7422,20a	67524,63±34229,06

	100	112730,48±94216,42	55250,45±113738,67	78293,98±78501,40
--	-----	--------------------	--------------------	-------------------

A kisbetűk és a szürke árnyalatai az oszlopokon belüli cellákban a búzafajta hatását jelzik rögzített Zwi és Zpi mellett (Tukey teszt $p < 0,05$). Sem a Zwi, sem a Zpi nem volt szignifikáns 2022-ben ($p > 0,05$).

Melléklet 2. 3. táblázat: Gazdasági előny index (MAI) értékeinek átlaga és szórása 2023-ban GK Szilárd, Cellule és GK Csillag őszi búzafajta, valamint Aviron őszi borsó keverékvetése esetén különböző vetésarányok mellett

		Borsó vetésarány (Zpi)		
		50	75	100
Búza/Borsófajta	Búza vetésarány (Zwi)	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás
Cellule /Aviron	50	-7321,68±39212,73	847,70±59653,78	4824,96±57977,16
	75	-51602,81±100918,65	-35601,35±94639,56	-54616,39±61271,37
	100	-15125,42±113418,13	-76971,59±56357,66	-62050,89±34894,78
GK Csillag/Aviron	50	52087,79±70302,59	22368,55±55983,20	-46851,38±64036,75
	75	-61806,92±85407,71	-77008,41±63113,57	-93030,20±89481,83
	100	-63829,29±64595,02	-67848,78±48439,05	-52232,47±51650,27
GK Szilárd/Aviron	50	8731,40±64937,36	-10359,01±72215,45	-8023,65±32935,61
	75	-29884,20±128715,28	-102868,75±107307,28	-54008,39±120432,26
	100	-43261,92±33993,71	-75776,98±51373,14	-90613,46±70779,11

A vizsgált faktorok egyike sem volt szignifikáns 2023-ban ($p > 0,05$).

Melléklet 2. 4. táblázat: Növényártársítási előny index (IA) értékeinek átlaga és szórása 2021-ben GK Szilárd, Cellule és GK Csillag őszi búzafajta, valamint Aviron őszi borsó keverékvetése esetén különböző vetésarányok mellett

		Borsó vetésarány (Zpi)		
		50	75	100
Búza/Borsófajta	Búza vetésarány (Zwi)	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás
Cellule /Aviron	50	-68920,14±2010,92	-70426,41±14498,55	-58219,89±26967,33
	75	-55070,72±12994,74	-85158,21±15685,17	-76976,85±13823,24
	100	-78880,61±10405,28	-78247,78±19050,68	-64871,35±39367,99
GK Csillag/Aviron	50	-67052,92±19590,58	-69146,44±28185,30	-66343,23±29312,20
	75	-67837,17±34723,19	-68980,87±28152,03	-67470,90±27042,56
	100	-63408,83±26866,04	-59071,92±15785,97	-64486,99±32560,82
	50	-60387,99±12254,83	-68007,51±6853,08	-57076,24±8163,14

GK Szilárd/Aviron	75	-77142,22±9859,47	-77048,93±7553,92	-69138,15±8941,86
	100	-69872,61±12286,49	-74294,35±6320,37	-71299,29±7229,77

A vizsgált faktorok egyike sem volt szignifikáns 2021-ben ($p > 0,05$).

Melléklet 2. 5. táblázat: Növénytársítási előny index (IA) értékeinek átlaga és szórása 2022-ben GK Szilárd, Cellule és GK Csillag őszi búzafajta, valamint Aviron őszi borsó keverékvetése esetén különböző vetésarányok mellett

		Borsó vetésarány (Zpi)		
		50	75	100
Búza/Borsófajta	Búza vetésarány (Zwi)	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás
Cellule /Aviron	50	-95927,25±29315,82	-57653,15±38567,71	-61735,65±56175,13
	75	-47702,70±63752,00	-66184,15±28809,41a	-88724,10±34724,50
	100	-69644,05±55896,88	-90650,30±21686,12	-92506,91±22887,76
GK Csillag/Aviron	50	-89817,39±20580,74	-107877,86±15404,19	-113853,74±13740,68
	75	-99503,89±16746,42	-105303,26±6580,31b	-111867,70±17082,39
	100	-111939,49±15713,17	-109403,39±11169,92	-113300,40±8740,26
GK Szilárd/Aviron	50	-65347,43±13512,13	-84926,50±20983,50	-78029,37±20981,20
	75	-91257,38±8034,31	-97395,38±1404,96ab	-100124,60±10891,50
	100	-80371,83±44550,04	-100102,12±32678,95	-93976,23±29519,76

A kisbetűk az oszlopokon belüli cellákban a búzafajta hatását jelzik rögzített Zwi és Zpi mellett (Tukey teszt $p < 0,05$). Sem a Zwi, sem a Zpi nem volt szignifikáns 2022-ben ($p > 0,05$).

Melléklet 2. 6. táblázat: Növénytársítási előny index (IA) értékeinek átlaga és szórása 2023-ban GK Szilárd, Cellule és GK Csillag őszi búzafajta, valamint Aviron őszi borsó keverékvetése esetén különböző vetésarányok mellett

		Borsó vetésarány (Zpi)		
		50	75	100
Búza/Borsófajta	Búza vetésarány (Zwi)	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás
Cellule /Aviron	50	-95153,77±5665,64	-92582,98±8981,34	-91646,22±8314,67
	75	-100858,43±12048,62	-98586,92±11425,62	-101007,81±7308,69
	100	-97167,99±13690,81	-105162,33±7029,82	-103100,28±3841,52
GK Csillag/Aviron	50	-84301,89±11387,80	-89480,84±10485,96	-99410,96±9442,44
	75	-103063,71±10542,57	-105092,75±7647,09	-106361,13±11493,93

	100	-103803,92±8369,79	-104055,21±6365,58	-102049,40±6408,60
GK Szilárd/Aviron	50	-92507,97±12129,59	-95532,96±11649,29	-94518,12±6235,14
	75	-98577,88±18203,18	-108649,72±15027,03	-102442,57±15973,44
	100	-102471,99±4854,33	-107005,40±8109,78	-108693,65±11585,24

A vizsgált faktorok egyike sem volt szignifikáns 2023-ban ($p > 0,05$).

12.3. Melléklet 3.: Őszi búza termésmennyiségének statisztikai elemzése

Melléklet 3.1 táblázat: Őszi búza termésmennyiségének átlaga és szórása a tiszta vetéshez (100 %) képest 2021-ben GK Szilárd, Cellule és GK Csillag őszi búzafajta, valamint Aviron őszi borsó keverékvetése esetén különböző vetésarányok mellett

búza termés 2021		Borsó vetésarány (Zpi)		
		50	75	100
Búza/Borsófajta	Búza vetésarány (Zwi)	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás
Cellule /Aviron	50	87,55 ± 10,18	87,82 ± 13,85	80,73 ± 13,14
	75	79,81 ± 6,17	83,85 ± 11,18	79,25 ± 12,21
	100	86,71 ± 12,68	89,28 ± 16,88	84,81 ± 13,56
GK Csillag/Aviron	50	107,26 ± 21,70	108,29 ± 38,09	98,59 ± 22,07
	75	111,98 ± 43,39	109,11 ± 41,08	107,99 ± 35,06
	100	124,24 ± 35,12	109,70 ± 27,95	110,24 ± 27,47
GK Szilárd/Aviron	50	94,74 ± 15,55	94,33 ± 14,13	88,17 ± 7,35
	75	82,35 ± 12,07	88,35 ± 18,88	79,31 ± 20,28
	100	90,50 ± 11,29	99,25 ± 16,32	88,57 ± 10,03

A vizsgált faktorok egyike sem volt szignifikáns 2021-ben ($p > 0,05$).

Melléklet 3.2 táblázat: Őszi búza termésmennyiségének átlaga és szórása a tiszta vetéshez (100%) képest 2022-ben GK Szilárd, Cellule és GK Csillag őszi búzafajta, valamint Aviron őszi borsó keverékvetése esetén különböző vetésarányok mellett

búza termés 2022		Borsó vetésarány (Zpi)		
		50	75	100
Búza/Borsófajta	Búza vetésarány (Zwi)	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás
Cellule /Aviron	50	97,00 ± 12,88	94,59 ± 8,05	89,49 ± 10,65
	75	102,24 ± 7,93	100,34 ± 8,53	89,45 ± 7,48
	100	102,26 ± 10,83	93,48 ± 6,59	92,99 ± 6,76

GK Csillag/Aviron	50	99,99 ± 3,74	90,22 ± 12,50	83,96 ± 9,03
	75	93,84 ± 10,65	91,17 ± 5,20	86,71 ± 13,25
	100	92,18 ± 6,43	95,16 ± 12,78	90,31 ± 8,88
GK Szilárd/Aviron	50	113,34 ± 6,36	95,80 ± 13,55	104,07 ± 11,42
	75	97,39 ± 9,78	97,08 ± 7,79	96,17 ± 9,00
	100	103,60 ± 14,98	92,37 ± 20,18	99,30 ± 13,58

A vizsgált faktorok egyike sem volt szignifikáns 2022-ben ($p > 0,05$).

Melléklet 3.3 táblázat: Őszi búza termésmennyiségének átlaga és szórása a tiszta vetéshez (100%) képest 2023-ban GK Szilárd, Cellule és GK Csillag őszi búzafajta, valamint Aviron őszi borsó keverékvetése esetén különböző vetésarányok mellett

búza termés 2023		Borsó vetésarány (Zpi)		
		50	75	100
Búza/Borsófajta	Búza vetésarány (Zwi)	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás
Cellule /Aviron	50	75,40 ± 3,40	70,46 ± 4,06	64,09 ± 8,36
	75	77,58 ± 7,99	76,69 ± 10,05	74,93 ± 7,15
	100	85,74 ± 15,65	76,25 ± 10,36	76,95 ± 8,93
GK Csillag/Aviron	50	73,82 ± 6,73	74,56 ± 3,79	66,96 ± 4,95
	75	75,90 ± 9,42	71,06 ± 12,19	68,29 ± 8,24
	100	77,69 ± 7,62	77,00 ± 4,50	78,13 ± 6,36
GK Szilárd/Aviron	50	77,31 ± 7,55	77,05 ± 11,84	69,04 ± 6,93
	75	78,64 ± 16,93	69,08 ± 6,83	78,40 ± 17,09
	100	81,52 ± 6,02	78,38 ± 3,00	73,72 ± 1,81

A vizsgált faktorok egyike sem volt szignifikáns 2023-ban ($p > 0,05$).

12.4. Melléklet 4.: Az őszi búza fehérjetartalmának és Zeleny indexének statisztikai elemzése

Melléklet 4.1 táblázat: Őszi búza fehérjetartalmának átlaga és szórása a tiszta vetéshez (100%) képest 2021-ben GK Szilárd, Cellule és GK Csillag őszi búzafajta, valamint Aviron őszi borsó keverékvetése esetén különböző vetésarányok mellett

búza fehérje 2021		Borsó vetésarány (Zpi)		
		50	75	100
Búza/Borsófajta	Búza vetésarány (Zwi)	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás
Cellule /Aviron	50	95,12 ± 6,09	97,21 ± 9,24	101,11 ± 5,27

	75	100,93 ± 5,53	97,85 ± 2,69	99,30 ± 2,35
	100	96,87 ± 2,07	94,86 ± 3,80	94,10 ± 4,78
GK Csillag/Aviron	50	98,30 ± 7,32	98,95 ± 4,62	95,18 ± 7,11
	75	94,50 ± 6,05	94,09 ± 4,09	97,33 ± 2,66
	100	97,69 ± 6,74	97,14 ± 7,96	96,84 ± 9,45
GK Szilárd/Aviron	50	91,60 ± 8,52	89,42 ± 3,69	91,53 ± 4,93
	75	90,94 ± 9,02	96,31 ± 14,29	92,83 ± 8,04
	100	88,71 ± 6,77	93,31 ± 7,13	93,57 ± 8,85

A vizsgált faktorok egyike sem volt szignifikáns 2021-ben ($p > 0,05$).

Melléklet 4.2 táblázat: Őszi búza fehérjetartalmának átlaga és szórása a tiszta vetéshez (100%) képest 2022-ben GK Szilárd, Cellule és GK Csillag őszi búzafajta, valamint Aviron őszi borsó keverékvetése esetén különböző vetésarányok mellett

búza fehérje 2022		Borsó vetésarány (Zpi)		
		50	75	100
Búza/Borsófajta	Búza vetésarány (Zwi)	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás
Cellule /Aviron	50	98,71 ± 6,20	99,32 ± 10,18	98,40 ± 9,55
	75	95,66 ± 10,19	96,71 ± 9,23	100,06 ± 7,51
	100	97,25 ± 10,47	96,96 ± 7,94	97,43 ± 6,91
GK Csillag/Aviron	50	100,66 ± 7,55	100,88 ± 4,28	99,75 ± 2,80
	75	98,84 ± 6,01	99,86 ± 4,78	101,04 ± 7,69
	100	95,73 ± 7,85	98,14 ± 8,34	100,43 ± 6,46
GK Szilárd/Aviron	50	101,13 ± 9,02	104,60 ± 11,06	105,25 ± 11,03
	75	99,36 ± 5,50	100,97 ± 7,00	101,65 ± 6,27
	100	94,61 ± 6,46	95,38 ± 8,45	96,81 ± 4,18

A vizsgált faktorok egyike sem volt szignifikáns 2022-ben ($p > 0,05$).

Melléklet 4.3 táblázat: Őszi búza fehérjetartalmának átlaga és szórása a tiszta vetéshez (100%) képest 2023-ban GK Szilárd, Cellule és GK Csillag őszi búzafajta, valamint Aviron őszi borsó keverékvetése esetén különböző vetésarányok mellett

búza fehérje 2023		Borsó vetésarány (Zpi)		
		50	75	100
Búza/Borsófajta	Búza vetésarány (Zwi)	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás

Cellule /Aviron	50	105,64 ± 10,14	107,23 ± 10,18	111,29 ± 6,54
	75	108,48 ± 7,48	109,75 ± 7,88	109,06 ± 8,25
	100	108,99 ± 9,00	107,76 ± 5,38	110,19 ± 10,07
GK Csillag/Aviron	50	104,32 ± 3,66	106,97 ± 3,33	109,72 ± 3,16
	75	106,75 ± 8,95	105,97 ± 7,55	106,18 ± 7,40
	100	100,58 ± 7,82	104,17 ± 3,30	104,70 ± 4,23
GK Szilárd/Aviron	50	102,83 ± 6,96	104,27 ± 10,57	107,32 ± 16,57
	75	106,19 ± 10,68	107,34 ± 6,53	102,60 ± 3,53
	100	99,93 ± 6,57	104,88 ± 5,63	105,90 ± 9,20

A vizsgált faktorok egyike sem volt szignifikáns 2023-ban ($p > 0,05$).

Melléklet 4.4 táblázat: Őszi búza Zeleny indexek átlaga és szórása a tiszta vetéshez (100%) képest 2021-ben GK Szilárd, Cellule és GK Csillag őszi búzafajta, valamint Aviron őszi borsó keverékvetése esetén különböző vetésarányok mellett

búza Zeleny 2021		Borsó vetésarány (Zpi)		
		50	75	100
Búza/Borsófajta	Búza vetésarány (Zwi)	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás
Cellule /Aviron	50	91,61 ± 8,76	94,72 ± 15,09	101,78 ± 8,01
	75	99,77 ± 8,50	94,35 ± 4,84	96,41 ± 5,24
	100	94,35 ± 4,03	89,94 ± 7,10	89,50 ± 9,10
GK Csillag/Aviron	50	95,61 ± 11,91	97,06 ± 8,16	90,77 ± 11,11
	75	90,58 ± 9,95	89,08 ± 5,94	94,79 ± 5,00
	100	95,42 ± 12,16	95,25 ± 13,89	93,57 ± 16,67
GK Szilárd/Aviron	50	85,48 ± 15,22	81,51 ± 6,21	84,00 ± 8,03
	75	83,88 ± 14,37	93,14 ± 26,15	87,50 ± 13,73
	100	79,28 ± 11,08	86,65 ± 12,84	87,62 ± 15,46

A vizsgált faktorok egyike sem volt szignifikáns 2021-ben ($p > 0,05$).

Melléklet 4.5 táblázat: Őszi búza Zeleny indexek átlaga és szórása a tiszta vetéshez (100%) képest 2022-ben GK Szilárd, Cellule és GK Csillag őszi búzafajta, valamint Aviron őszi borsó keverékvetése esetén különböző vetésarányok mellett

búza Zeleny 2022		Borsó vetésarány (Zpi)		
		50	75	100

Búza/Borsófajta	Búza vetésarány (Zwi)	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás
Cellule /Aviron	50	101,50 ± 9,83	102,30 ± 16,95	100,78 ± 16,47
	75	93,20 ± 12,56	96,58 ± 12,39	100,36 ± 9,50
	100	95,50 ± 15,37	94,69 ± 10,63	96,78 ± 9,57
GK Csillag/Aviron	50	99,67 ± 12,85	101,60 ± 8,12	99,95 ± 6,26
	75	99,66 ± 13,46	101,99 ± 10,41	103,30 ± 16,00
	100	93,70 ± 12,67	98,96 ± 13,90	101,60 ± 12,04
GK Szilárd/Aviron	50	102,52 ± 14,14	107,90 ± 15,98	109,96 ± 15,20
	75	99,36 ± 7,26	103,17 ± 10,16	104,96 ± 9,92
	100	94,81 ± 10,70	94,42 ± 12,45	96,68 ± 7,94

A vizsgált faktorok egyike sem volt szignifikáns 2022-ben ($p > 0,05$).

Melléklet 4.6 táblázat: Őszi búza Zeleny indexek átlaga és szórása a tiszta vetéshez (100%) képest 2023-ban GK Szilárd, Cellule és GK Csillag őszi búzafajta, valamint Aviron őszi borsó keverékvetése esetén különböző vetésarányok mellett

búza Zeleny 2023		Borsó vetésarány (Zpi)		
		50	75	100
Búza/Borsófajta	Búza vetésarány (Zwi)	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás
Cellule /Aviron	50	110,10 ± 17,13	109,59 ± 15,46	119,36 ± 17,36
	75	117,22 ± 9,76	118,49 ± 10,97	116,71 ± 11,00
	100	114,74 ± 13,48	112,31 ± 6,62	115,86 ± 14,52
GK Csillag/Aviron	50	106,78 ± 4,22	111,20 ± 3,91	113,66 ± 6,83
	75	107,82 ± 14,60	106,70 ± 12,21	107,32 ± 11,68
	100	99,46 ± 5,90	102,72 ± 4,27	104,74 ± 7,45
GK Szilárd/Aviron	50	107,55 ± 15,86	109,12 ± 19,41	111,31 ± 21,37
	75	109,53 ± 13,13	114,66 ± 11,04	106,07 ± 7,61
	100	102,38 ± 12,17	109,44 ± 12,76	113,43 ± 19,67

A vizsgált faktorok egyike sem volt szignifikáns 2023-ban ($p > 0,05$).

12.5. Melléklet 5.: Őszi borsó fehérjetartalmának statisztikai elemzése

Melléklet 5.1 táblázat: Őszi borsó fehérjetartalmának átlaga és szórása a tiszta vetéshez (100%) képest 2021-ben GK Szilárd, Cellule és GK Csillag őszi búzafajta, valamint Aviron őszi borsó keverékvetése esetén különböző vetésarányok mellett

borsó fehérje 2021		Borsó vetésarány (Zpi)		
		50	75	100
Búza/Borsófajta	Búza vetésarány (Zwi)	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás
Cellule /Aviron	50	106,93 ± 4,24	106,82 ± 3,18	106,72 ± 0,69
	75	108,33 ± 2,77	110,40 ± 4,46	108,01 ± 4,11
	100	107,74 ± 5,67	108,62 ± 5,77	107,77 ± 1,67
GK Csillag/Aviron	50	102,98 ± 2,47	104,18 ± 2,47	102,63 ± 2,77
	75	104,42 ± 4,27	103,24 ± 2,71	103,60 ± 4,06
	100	104,91 ± 4,41	100,80 ± 1,81	103,29 ± 3,85
GK Szilárd/Aviron	50	103,93 ± 2,07	104,06 ± 1,23	103,42 ± 1,02
	75	104,42 ± 4,10	106,58 ± 3,92	104,15 ± 1,74
	100	104,64 ± 3,17	108,01 ± 4,69	103,44 ± 2,15

A vizsgált faktorok egyike sem volt szignifikáns 2021-ben ($p > 0,05$).

Melléklet 5.2: Őszi borsó fehérjetartalmának átlaga és szórása a tiszta vetéshez (100%) képest 2022-ben GK Szilárd, Cellule és GK Csillag őszi búzafajta, valamint Aviron őszi borsó keverékvetése esetén különböző vetésarányok mellett

borsó fehérje 2022		Borsó vetésarány (Zpi)		
		50	75	100
Búza/Borsófajta	Búza vetésarány (Zwi)	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás
Cellule /Aviron	50	109,76 ± 4,24	115,88 ± 6,58	112,01 ± 4,84
	75	112,35 ± 2,58	114,56 ± 4,79	112,80 ± 2,98
	100	113,67 ± 4,93	115,73 ± 5,14	114,43 ± 4,08
GK Csillag/Aviron	50	111,61 ± 4,29	113,56 ± 3,16	111,08 ± 4,08
	75	110,04 ± 5,42	114,28 ± 3,24	110,99 ± 4,78
	100	113,17 ± 3,36	116,39 ± 2,48	114,32 ± 4,78
GK Szilárd/Aviron	50	112,02 ± 4,60	116,86 ± 7,49	115,14 ± 3,85
	75	113,28 ± 3,39	115,67 ± 2,17	115,64 ± 6,11
	100	114,41 ± 3,03	116,07 ± 4,47	115,50 ± 4,42

A vizsgált faktorok egyike sem volt szignifikáns 2022-ben ($p > 0,05$).

Melléklet 5.3: Őszi borsó fehérjetartalmának átlaga és szórása a tiszta vetéshez (100%) képest 2023-ban GK Szilárd, Cellule és GK Csillag őszi búzafajta, valamint Aviron őszi borsó keverékvetése esetén különböző vetésarányok mellett

borsó fehérje 2023		Borsó vetésarány (Zpi)		
		50	75	100
Búza/Borsófajta	Búza vetésarány (Zwi)	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás	Átlag ± Szórás
Cellule /Aviron	50	113,70 ± 3,18	110,67 ± 2,26	109,36 ± 2,29
	75	114,74 ± 3,69	112,34 ± 1,89	109,98 ± 2,10
	100	115,30 ± 2,94	113,36 ± 0,78	107,51 ± 2,65
GK Csillag/Aviron	50	108,51 ± 2,49	107,52 ± 1,40	104,66 ± 2,83
	75	108,74 ± 2,46	107,85 ± 2,26	105,31 ± 3,57
	100	108,51 ± 1,89	108,76 ± 2,73	104,48 ± 4,52
GK Szilárd/Aviron	50	110,00 ± 5,15	110,90 ± 4,26	108,24 ± 2,59
	75	111,70 ± 4,76	110,35 ± 5,50	108,42 ± 4,02
	100	112,33 ± 0,82	109,57 ± 3,77	110,10 ± 3,55

A vizsgált faktorok egyike sem volt szignifikáns 2023-ban ($p > 0,05$)