

IDŐSZAKOS TALAJVÍZSZINT EMELÉS HATÁSA AZ ŐSZI BÚZA ZELENY ÉRTÉKÉRE

THE EFFECT OF SEASONAL GROUNDWATER LEVEL RISE ON THE ZELENY VALUE OF WINTER WHEAT

KEREZSI GYÖRGY – WALTNER ISTVÁN – GÉCZI GÁBOR
kerezsi.gyorgy@uni-mate.hu

Összefoglalás

A kutatás témája az átmeneti vízborítottság őszi búzára gyakorolt hatásának vizsgálata kontrollált, liziméteres körülmények között. A kutatás beállítása különböző (vízszinteken) 0 cm (kétfázisú talaj), -30 cm (a felszíntől -30 cm-en beállított vízszint) és -60 cm (a felszíntől -60 cm-en beállított vízszint) és tartósságok (3, 6, 9, 12 nap) mellett elemezzük a növény válaszreakcióit, a hozam és a Zeleny-érték szempontjából. A kutatás során alkalmazott statisztikai módszerek MANOVA, ANOVA, Welch-próba, Games-Howell post-hoc teszt valamint többváltozós korreláció segítettek az eredmények szignifikáns különbségeit feltérképezni. A Pearson-féle korrelációs mátrix magasan szignifikáns, erős pozitív korrelációt igazolt a minőségi mutató között ($r = 0,955-0,989$, $p < 0,001$), míg a hozam gyenge pozitív korrelációt mutatott a minőségi paraméterrel ($r = 0,155$). A Games-Howell post-hoc tesztek szerint a Zeleny-érték esetében a mérsékelt stressz, különösen a 9 napos kezelés a -60 cm-es vízszintnél, szignifikánsan javította a minőséget (pl. 2021, -60 cm, 9 nap szemben a 3 és 6 nap: $p = 0,031$ és $p = 0,004$). Ugyanezen körülmények között (pl. 2021, -60 cm, 9 nap), a hozam nem mutatott szignifikáns eltérést a kontrollhoz képest a Welch-féle t-próba szerint ($p = 0,4032$). A minőségjavulás nem feltétlenül társul hozamnövekedéssel, sőt, más esetekben a hozam csökkenhet is. A 2021-es évben a 0 cm-es vízszint mellett a 6 napos kezelés szignifikánsan csökkentette a hozamot ($p = 0,0496$), míg a 9 és 12 napos kezelések növelték ($p = 0,009$, $p = 0,034$). Zeleny-érték: 2020-ban -60 cm-en a folyamatos kezelés szignifikánsan rosszabb volt, mint a 12 napos ($p = 0,004$). Míg 2019-ben ugyanezen vízszintnél a folyamatos kezelés szignifikánsan jobb volt, mint a 3 napos ($p < 0,0001$). A hozam 2021-ben -60 cm-en a folyamatos elárasztás szignifikánsan alacsonyabb hozamot eredményezett, mint a 12 napos kezelés ($p = 0,005$). Viszont 2020-ban -60 cm-en a folyamatos kezelés szignifikánsan jobb volt, mint a 3 napos ($p = 0,026$) és a 9 napos ($p = 0,003$) kezelés. Ez a mintázat aláhúzza a folyamatos kezelés kockázatos és évjárat-specifikus jellegét.

Kulcsszavak: őszi búza, Zeleny, hozam, liziméter, talajvízszint

JEL kód: O13, O33, O4, Q15, Q25

Abstract

The topic of the research is to examine the effect of temporary waterlogging on winter wheat under controlled, lysimeter conditions. The aim was to analyze plant responses specifically yield and the Zeleny value at different water levels of 0 cm (two-phase soil), -30 cm (water level set at 30 cm below the surface), and -60 cm (water level set at 60 cm below the surface)

and durations (3, 6, 9, 12 days). The statistical methods used MANOVA, ANOVA, Welch's test, the Games-Howell post-hoc test, and multivariate correlation helped map significant differences in the results. The Pearson correlation matrix confirmed a highly significant, strong positive correlation between the quality indicators ($r = 0,955-0,989$, $p < 0,001$), whereas yield showed a weak positive correlation with the quality parameter ($r = 0,155$). According to the Games-Howell post-hoc tests, for the Zeleny value, moderate stress particularly the 9-day treatment at a -60 cm water level significantly improved quality (e.g., 2021, -60 cm, 9 days vs. 3 and 6 days: $p = 0,031$ and $p = 0,004$). Under the same conditions (e.g., 2021, -60 cm, 9 days), yield did not differ significantly from the control according to Welch's t -test ($p = 0,4032$). Quality improvement is not necessarily associated with yield increase; indeed, in other cases yield may even decrease. In 2021, at the 0 cm water level, the 6-day treatment significantly reduced yield ($p = 0,0496$), while the 9- and 12-day treatments increased it ($p = 0,009$, $p = 0,034$). Zeleny value: in 2020 at -60 cm, the continuous treatment was significantly worse than the 12-day treatment ($p = 0,004$), whereas in 2019 at the same water depth, the continuous treatment was significantly better than the 3-day treatment ($p < 0,0001$). For yield, in 2021 at -60 cm, continuous flooding resulted in a significantly lower yield than the 12-day treatment ($p = 0,005$). Conversely, in 2020 at -60 cm, the continuous treatment was significantly better than the 3-day ($p = 0,026$) and 9-day ($p = 0,003$) treatments. This pattern underscores the risky and year-specific nature of continuous treatment.

Keywords: winter wheat, Zeleny, yield, lyzimeter, groundwaterlevel

Bevezetés

Az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület (IPCC) éghajlati modelljei az ember által okozott éghajlatváltozás miatt az aszályok és heves csapadékesemények gyakoriságának és intenzitásának növekedését jósolják Európában (Pachauri et al., 2014). Az IPCC legújabb értékelő jelentése ezért, mind az 1., mind a 2. munkacsoportban külön fejezeteket szentel a víznek, hangsúlyozva az integráltabb megközelítést a víz éghajlati kockázat csökkentése terén a jelenlegi és jövőbeli alkalmazkodási stratégiák hatékonyságának finomításáért (Douville et al., 2022). A visszatartott víz minősége hatással lehet a talaj és a növények egészségére, valamint a levezetett többlet víz elviheti a tápanyagokat és a szerves anyagokat a termőföldről, ami hatással lehet a befogadókra (Pálffy et al., 2022).

Az őszi búza egyaránt érzékeny lehet a vízhiányra és a túlzott nedvességre, ezért a magyarországi őszi búza termelésben a többletvizek kezelése több stratégiát is magába foglal, amelyek a vízfelhasználás hatékonyságának optimalizálására, a talajgazdálkodás javítására (optimális talajnedvesség állapot fenntartására) és a megfelelő búzafajták kiválasztására stb. összpontosít (SANTA et al., 2025). A hidrológiai ciklus időbeli és térbeli változásai az éghajlati ingadozások következményei (NEUKUM and AZZAM, 2012). A vízkészletek felhalmozódásának és csökkenésének a területre jellemző természetes éves ciklusa van. Ezért a talajban tározódó talajvíz mennyisége időben változik, ezt észlelhetjük a talajvízmélység változásán (ILYÉS et al., 2018). A talajvízszint időbeli változását talajvízjárásnak nevezzük (KISS et al., 1981). A talajvízmélység hasonlóan a vízfolyásokban észlelt vízállásokhoz határok között mozog. Megállapíthatók a vizsgálati időszak legkisebb, legnagyobb és különböző gyakorisággal előforduló mélységei. A két szélső érték közötti magasságkülönbség a talajvíz játéka. Hazánkban „hagyományosan” a hidrológiai év szerint (november 1-jén kezdődik és következő év október 31-ig tart) a talajvíz járására éves viszonylatban általában jellemző, hogy az őszi-téli félévben emelkedik (a talajban a csapadékvíz tározódik) a tavaszi-nyári félévben viszont a talajvíz - a párolgás és a növények fogyasztása (az evapotranszspiráció) következtében – süllyed (KISS et al., 1981; DINKA and NDAMBUKI, 2014). Az év legmagasabb

talajvízállásai ennek megfelelően április-május hónapban, a legalacsonyabbak pedig az év végén, október-november hónapban észlelhetők (KISS et al., 1981). A hidrológiai év és a normális vagy megszokott talajvízjárás a klímaváltozás, a vízgyűjtő területhasználat változásának, stb. hatására szintén változik (WAHREN et al., 2015). A minimum 3-6 m talajvízszint mélységű helyeken van közvetlen hatása a talajvízjárásnak a többletvizek, belvizek kialakulására (KISS et al., 1981; NOSETTO et al., 2009). Így Magyarországon a többletvizek, belvizek kialakulása három jellegzetes időszakhoz köthető: a téli-tavaszi (december-április), a nyári (május-augusztus) és az őszi (szeptember-november) időszakhoz (RAKONCZAI et al., 2001; PATAY és MONTVAJSZKI, 2011). Mind a három időszak különböző mértékben befolyásolja az őszi búzát (LIU et al., 2021).

A pangó víz közvetlen hatása az őszi búzára

Az őszi búza többletvízre / belvízre/ víznyomásra, pangó vízre (waterlogging)/ telített vagy kétfázisú talajra (saturated soil) a reproduktív szakaszban a legérzékenyebb; a kár mértékét a fenofázis mellett főleg a vízborítás időtartama, a hőmérséklet és a talaj levegőzöttsége (tömörödés, agyagtartalom, stb.) határozza meg (HERZOG et al., 2016; PLOCHUK et al., 2018; WU et al., 2018; JÚNIOR et al., 2023; YU et al., 2025). A búza szármegnyúlás kezdeti vagy virágzáskori reproduktív fenológiai stádiumok, amelyek szorosan korrelálnak a végső búzaszemterméssel, különösen azért, mert a szármegnyúlás szakasza határozza meg a termékeny virágok számát és az egységnyi területre jutó szemszámot (FISCHER, 1985; MIRALLES et al., 2000; MARTI et al., 2015), míg a virágzás utáni időszak a búzaszem méretét/ezerszemtömegét befolyásolja (HOSSAIN et al., 2011). Ugyanakkor a víznyomás (waterlogging) miatti szemszámvesztés egységnyi területen általában a virágzás előtt, a kalászhányás környékén a legnagyobb. Kelés, bokrosodás és érés idején a búza kevésbé érzékeny a többletvíz hatásaira (DE SAN CELEDONIO et al., 2014).

Csírázás (Germination stage):

A csírázáskor a magok rothadása és az alacsonyabb kelési arány jellemző (DING et al., 2020; PANG et al., 2022). Ez elsősorban a telített talajban lévő oxigénhiánynak köszönhető, amely megzavarja a csírázáshoz nélkülözhetetlen anyagcsere-folyamatokat (PAN et al., 2021; PANG et al., 2022). A tanulmány kimutatta, hogy a különböző búzafajták (432 fajta) átlagos csírázási aránya (seed germination rate, SGR) az 5 napos vízzel való elárasztás szimuláció után 55,5%-ra csökkent, a csökkenés a fajták között széles tartományba (2,0–96,0%) esett, ami jelentős különbségeket jelez a búzafajták többlet vízstressz-toleranciájában (PANG et al., 2022).

Kelés (Seedling emergence stage):

Az őszi búza kelés során fellépő telített talaj jelentősen csökkenti az SPAD (Soil Plant Analysis Development) relatív klorofilltartalom index értékeket, a hajtások számát, az egy növényre jutó kalászkok számát és a szárazanyag-felhalmozódást (WU et al., 2015a). Ebben a szakaszban a terméshozam 10–15%-kal csökken a telített talaj miatt (WU et al., 2015b).

Bokrosodás (Tillering stage):

A telített talaj a bokrosodási szakaszban a kalászkok és a szemek m²-enkénti számának csökkenésével eredményezi a legjelentősebb termés kiesést (Shao et al., 2013; Wu et al., 2015b). Ez a szakasz a klorofilltartalom és a fotoszintézis csökkenése miatt rendkívül érzékeny, ami a gyökér/hajtás arány (root/shoot ratio, RS) és az elektrontranszport sebesség csökkenéséhez vezet.

Szárbaszökés, szárbaindulás (Shooting-; Jointing- vagy Stem extension stage):

A szárbaszökéskor fellépő telített talaj csökkenti a fotoszintézis sebességét, a transzspirációt és a vízfelhasználás hatékonyságát, ami a gyökér- és hajtásnövekedés csökkenéséhez vezet (SHAO et al., 2013; WU et al., 2018; CHEN et al., 2024). A előzőek befolyásolják a tápanyagfelvételt, ami átmeneti tápanyaghiányhoz vezet, a hozamcsökkenést elsősorban az ezer szemtömeg és a kalászok számának csökkenésének tulajdonították (WOLLMER et al., 2018).

Kalászhányás, kalászolás (Heading stage):

DING et al. (2018) és CUI et al. (2020) szerint, a kalászképződési szakaszban a telített talaj jelentősen csökkentheti a növény magasságát, a gyökér- és hajtástömeget, valamint a szemtermést. A terméshozam 3,8%-13,1%-kal csökkent a vízszinttartás időtartamától és súlyosságától függően (DING et al., 2018; CUI et al., 2020).

Virágzás (Flowering stage):

A virágzási szakaszban fellépő telített talaj csökkenti a fotoszintézis sebességét, a sztomatikus vezetőképesség és a transzspiráció sebességét, ami alacsonyabb szemszámot és szemtömeget eredményez. A termés csökkenés mértéke 8,07% és 47,84% között mozog, az érzékeny genotípusok esetében jelentősebb veszteségek tapasztalhatók. A nitrogén permetezés enyhítheti a virágzás utáni telített talaj néhány negatív hatását (WU et al., 2013, 2021).

Érés (Ripening- vagy Grain Filling stage):

A telített talaj a szemtelítődés időszakában korai levélöregedést okozhat, ami negatívan befolyásolja a szemtelítődést és a terméshozamot. Ez különösen akkor nyilvánvaló, ha a telített talaj a szemkötődéskor jelentkezik és a szemtelítődés 3. szakaszáig folytatódik (ARAKI et al., 2012).

Őszi búza vízfelesleg stressze különböző vízszinteknél

Ha a talajvízszint sekély (20 cm) és az elöntés öt napig tart, akkor erőteljesen csökken a fotoszintézis, a növény magassága, valamint a gyökér- és szártömeg – ez jelentős termés kieséshez vezet. Ezzel szemben a -40 cm-es mélységen történő, három napos vízborítás mérsékeltebb hatású (CUI et al., 2020). Az optimális talajvízmélység 0,8–1,2 m közötti, ami megfelelő vízellátást biztosít túllöntözés nélkül (SHE et al., 2022). A korai stádiumban alkalmazott szabályozott deficit öntözés (regulated deficit irrigation, RDI) elősegíti a stressztűrést a későbbi szakaszokban, és javítja a termésstabilitást (SHENG et al., 2022).

Többletvízstressz kísérletek őszi búzával

A vízstressz, függetlenül attól, hogy korai, késői vagy folyamatos, nagymértékben befolyásolja a őszi búza fejlődését, terméshozamát és minőségét. A folyamatos vízstressz (CWS) akár 65,5%-kal is csökkentheti a szemtermést, míg a korai (EWS) és késői (LWS) vízstressz 40,6%-os, illetve 24%-os termés csökkenéssel jár a teljes öntözéses kontrollhoz képest (OZTURK and AYDIN, 2004). A súlyos, ciklikus vízborítás és szárazság még nagyobb, 71–73%-os veszteséget is okozhat (DING et al., 2018). A növényélettani jellemzők, például a növény magasság, levél felület, klorofilltartalom és fotoszintézis, szintén érzékenyen reagálnak a vízstresszre (HERZOG et al., 2016). A fotoszintézisért felelős sztomák működése különösen kritikus. A bokrosodás és szármegnyúlás idején alkalmazott enyhe vízstressz, majd a

nóduszosodás fázisban biztosított elegendő vízellátás jó kompromisszum lehet. A kombinált stresszhatások, például vízhiány, vízborítás és alacsony hőmérséklet, együtt még súlyosabb következményekkel járnak, jelentősen rontva a fotoszintézist és a hozamot (LI et al., 2014).

Közeli infravörös spektroszkópia a Zeleny-érték meghatározásához

A közeli infravörös spektroszkópia (near-infrared spectroscopy, NIRS) technológia széles körben használt a búza minőségi paramétereinek, például a fehérjetartalom, nedvesség, a Zeleny-szedimentációs érték meghatározására (GAILE et al., 2023). A hagyományos módszerek, mint a Zeleny-teszt, alveográfiai mérések idő- és munkaigényesek, míg a NIRS gyors, roncsolásmentes alternatívát kínál. A módszer pontossága nagymértékben függ a kalibrációs modellektől, melyeket változatos mintakészlettel fejlesztenek és validálnak (FOSS, 2014). A kalibrált modellek esetén magas R^2 értékek és alacsony előrejelzési hibák érhetők el. Ugyanakkor a környezeti tényezők, fajtabeli különbségek és egyéb változók hatással lehetnek a mérési eredményekre. A minták tisztasága és előkészítése szintén befolyásolja a pontosságot, ezért ezekre külön figyelmet kell fordítani. A gabonák közeli infravörös (NIR) mérései kiemelkedő teljesítményt nyújtanak, ha transzmittancia módban történnek, a reflektancia mód helyett. A transzmittancia módú mérések alacsonyabb hullámhossz-tartományban, 400-1050 nm között zajlanak, míg a reflektancia mérések elsődleges információi 1100-2500 nm között kerülnek begyűjtésre (FOSS, 2014). Az alacsonyabb tartományban a fény magasabb energiaszintje lehetővé teszi, hogy mélyebben behatoljon a gabonaszemekbe, így nemcsak a felület, hanem a szemek belső része is megmérhető. Mindez nagyobb mintatérfogat elemzését teszi lehetővé transzmittancia használatakor, ami jobb reprezentációt biztosít az analizált mintáról. A Foss Infratec™ NOVA közeli infravörös spektroszkópia (NIRS) az agrárminőség-értékelésben, így az őszi búza vizsgálatában is, széles körben alkalmazott eljárás, amelynek pontosságát több tanulmány is igazolja. A műszer az őszi búza fehérjetartalmát százalékban (% m/m, szárazanyag százalékos arányában) adja meg, a standardizált NIR (közel-infravörös) spektroszkópiai módszerrel mért értéként, amely a 12%-os nedvességtartalomra normalizált alapra épül (FOSS, 2023). A mérés a WBPR0028-0 predikációs modellt használja, amely globális kalibrációval (több mint 30 000 mintán alapulva) biztosítja a pontosságot 0,1%-os hibahatáron belül, akár -4°C-tól +40°C-ig (YANG et al., 2021).

Az évjárat hatása a Zeleny-értékre

A Zeleny-értéket befolyásolta a hő- és aszálystressz együttes jelenléte; ezekben az esetekben a fehérjetartalom és az ülepedési térfogat magasabb volt, ugyanakkor a hozam és az ezermagtömeg alacsonyabb (STATKEVIČIŪTĖ et al., 2022). A szentelítődés idején bekövetkező hőmérséklet-emelkedés növelte a szemek fehérjetartalmát és a nedves siker mennyiségét, de ezzel egyidejűleg csökkentette az SDS (nátrium-dodecil-szulfát)- és a Zeleny-ülepedési értékeket, ami a sikererő gyengülésére utalt (BAGHERIKIA et al., 2025).

Anyag és módszer

Kísérleti eszközök és berendezések - Liziméter rendszer leírása

A vizsgálat helyszínéhez szükséges kísérleteket a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem (korábbi Szent István Egyetem) Környezettudományi Intézet (KÖTI), Öntözési és Vízgazdálkodási Kutatóközpont (ÖVKI) Liziméter Telepén végeztem (1. ábra). Az egy hektáron elterülő telepen 320 darab, nagyméretű gravitációs/kompenzációs liziméter található, amelyek 5 mérőpincéhez csatlakoznak, így ez Európa legnagyobb ilyen jellegű kutatási

infrastruktúrája ("Lysimeter Research Group," 2025). Egy-egy gravitációs liziméter térfogata 1 m^3 , amelynek 80%-át a vizsgált az edényekben lévő duzzadóagyagos talajtípusú talajoszlop tölti ki, ami egy 10 cm-es kavicsrétegen pihen a rendszeren esetlegesen átfolyó víz precíz összegyűjtéséhez (IBADZADE, 2021; KOLOZSVÁRI, 2023; KUN, 2018; SZÉKELY, 2023). A gravitációs/kompenzációs liziméterek segítségével a szántóföldi körülményekhez hasonlóan, de részben zárt – így pontosan nyomon követhető módon – lehet vízszintet tartani az edényekben. A liziméterek egyedi mérő edényekhez csatlakoznak a mérőpincékben, amelyek segítségével a közlekedő edények elvén vízszintet lehet beállítani. A talajnedvesség nyomonkövetésével korlátozott módon, de ezek a rendszerek is alkalmasak az evapotranspirációs vizsgálatokhoz, amely mérések pontosságát modern szenzorokkal és a liziméterek kompenzációs rendszerben való használatával javíthatunk. A kompenzációs liziméterek a legmegbízhatóbbak (ha jól csinálják), vagyis nincs felszíni hozzá/elfolyás mérni lehet velük a talajon átszivárgó-, kifolyó víz mennyiségét és minőségét. Minden típusú liziméternél, így a kompenzációsnál is vigyázni kell a szegélyhatásból, oázishatásból és a vízadagolás pontosságából eredő hibalehetőségekre.

Kísérleti növény és kezelések

A 'GK Déva' őszi búza fajtát használtam a kísérlet mindhárom évében (1. táblázat).

A nemesítőik vizsgálata alapján a fajta, sárga- és szározosda, valamint fuzárium rezisztenciája emelkedik ki (PAUK et al., 2020).

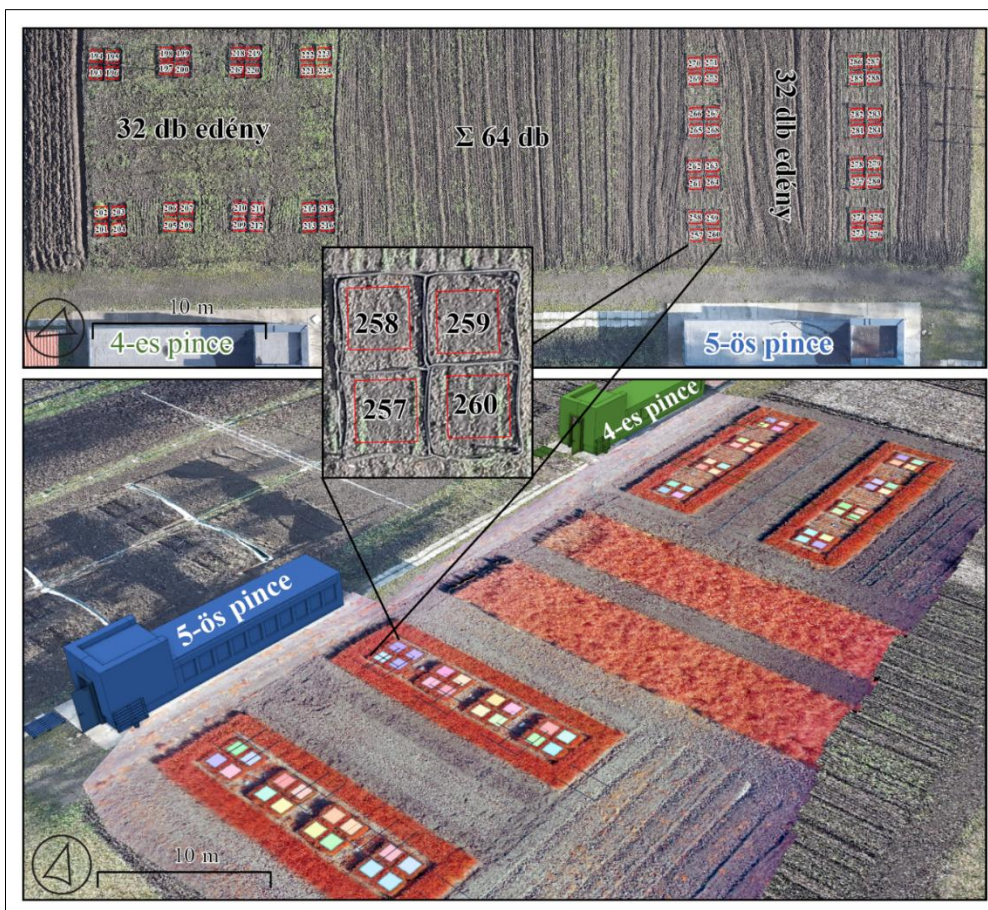
1. táblázat: A GK Déva őszi búza fajta tulajdonságai / Table 1. Characteristics of the GK Déva winter wheat variety

Fajta	Eredet	Fajtacsoport	Hidegtűrés	Szár- és sárgarozosda	Felhasználás	Megjegyzés
GK Déva	Magyarország (Basilica × Izidor)	Őszi búza (szálkás, középérésű, DH-vonal)	Toleráns	Kiemelkedő ellenállóság	Malmi, sütőipari (A1–A2)	Kiváló alkalmazkodóképesség, magas termés hozam

Forrás: PAUK et al. (2020) alapján saját szerkesztés

A beállított kezelések:

A belvíz-szimulációs kísérletet az ÖVKI Liziméter Telepén állítottuk be (1. ábra).



1. ábra A kísérleti elrendezés / Figure 1. Experimental design *Forrás: Saját szerkesztés*

Az 1. ábra elrendezési terve szerint 64 db liziméter edényben lett beállítva a kísérlet a liziméter pincék (5-ös és 4-es pincékben) bejáratával szemben állva a jobb oldalon, két pincében 32-32 edényben. Minden egyes edénynek egyedi számozása van (1. ábra). Minden kezelést négy ismétlésben végeztünk. A kezelések száma: 0: felszíntől mért 0 cm-es vízszint, kétfázisú talajállapot; -30 cm: a felszín alatt 30 cm-re és a -60 cm: a felszín alatt tartott vízszint 60 cm-es mélységben. Összesen három (talaj)vízszinten állítottunk be a kísérletet. Az időtartamot 3, 6, 9 és 12 napra és egy folyamatosan -60 cm-en tartott vízszintre állítottuk be. A kontroll öntözés nélküli termesztésnek megfelelően lett beállítva, vagyis nem kapott vízszint és időtartam (tartósság) kezelést. Így összesen 13 kezelést és a kontrollt vizsgáltam.

Vetés ideje és mennyisége

2018.10.21-én (2019-es); 2019.10.29-én (2020-as), 2020.10.20-án (2021-es) vetettük el a búzát. Minden liziméter edénybe (1 m²) 17,5 g őszi búzát vetettünk el (ezermagtömege 37,7 g).

Kezelések kezdete

2019.05.07-én, 2020.01.27-én és 2021.04.29-én kezdődött a kísérlet. A 2020-as évet szándékosan korábban kezdtük, mert a régióban ez az „igazi” időszaka a télvégi-tavaszi belvizeknek.

Alaptrágya

Minden évben minden edény azonos mennyiségű kézi kijuttatással komplex NPK (15-15-15%) alaptrágyát kapott és egységesen lett növényápolva.

Vízszintek beállítása

A liziméter pincékben az edények állványzatát erre a célra terveztük meg. A 15 literes vödrök aljának közepére lettek a liziméter edényekből vezető csövek szigetelten felerősítve, majd az edények sorszámaival láttuk el a vödröket és az elrendezésnek megfelelően az állványzatra kerültek. A vizsgálat ideje alatt a vízszinteket napi rendszerességgel ellenőriztük és a fogyásnak megfelelően pótoltuk.

Meteorológiai állomás

A liziméter telepen meteorológiai állomás található, melynek mérési adatai a kísérlet során rendelkezésünkre állt. A meteorológiai méréseket napi szinten regisztrálták és ellenőrizték a telepen dolgozó munkatársak. Ezeknek az adatait összesítettük (2. ábra).

Aratás, cséplés

Az aratás idején kézzel arattunk. Azonos magasságban vágtuk le a búzát (mint ahogyan a kombájn) majd a föld feletti kévetömeget mértük. Aratás után a kévét egységesen a MATE ÖVKI szarvasi Galambosi Rizskísérleti Telepen lévő kisparcellás cséplőgéppel csépleltük ki.

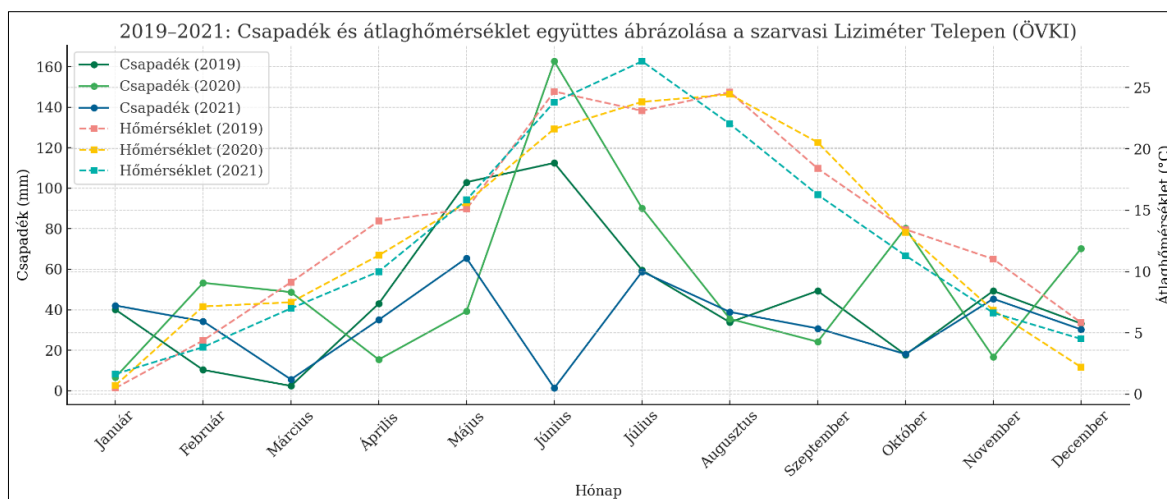
Őszi búza mag minőségi paramétereinek mérése

A Foss Infratec™ NOVA gabonaanalizátor egy korszerű, közeli infravörös transzmittancia (NIT) technológián alapuló műszer, amely lehetővé teszi a búza szemcseminta gyors és pontos vizsgálatát őrlés nélkül (FOSS, 2014). A műszer által vizsgálható főbb beltartalmi paraméter közé tartozik a nedvesség-, fehérje-, glutén-, sikér-, keményítő-, rost- és hamutartalom, valamint a hektoliter-tömeg meghatározása is. A készülék fejlett kalibrációs rendszert alkalmaz, amely mesterséges neurális hálózatra (ANN) és részleges legkisebb négyzetek (PLS, Partial Least Squares) módszerére épül, több tízezer kereszt-ellenőrzött minta alapján (ABBASI et al., 2014). A FOSS Infratec™ sorozat (beleértve a NOVA-t) több nemzetközi szabványban szerepel, pl. ISO 12099 (NIR kalibrálás), és megfelel az AACC, ICC irányelveknek. Megfelel az EN 15948 szabványnak, így pontossága alkalmas a gabonák kereskedelmi minősítéséhez is. Az eszköz EU és USA piacokon is elfogadott gabonaminősítésre.

A vizsgált tenyészek jellemzése

2018/2019

Március száraz volt, a talajnedvesség kritikusan csökkent; április elején hideg, hónap végén esők javítottak (ERDŐDINÉ MOLNÁR és KOVÁCS, 2020). Május bő csapadékú (103 mm) kedvező kalászosítás/virágzás; a hűvös lassított, de a vízellátás jó lett. Június elején gyors érés; havi középhőmérséklet 24,68°C. Középen zivatarok, a talaj ~1 m-ig átnedvesedett. Éves csapadék: 554,2 mm (2. ábra).



2. ábra 2019-2021: Csapadékösszeg és átlaghőmérséklet együttes ábrázolása a szarvasi Liziméter Telepen (ÖVKI) / Figure 2. 2019–2021: Combined representation of total precipitation and mean temperature at the Lysimeter Station in Szarvas (ÖVKI) Forrás: telephelyi mérések alapján saját szerkesztés

2019/2020

Feb–márc: bővebb csapadék (50–45 mm) talajvíz feltöltődés. Április száraz; május 2–3°C-kal hűvösebb az átlagnál, kevés eső (~40 mm), a hónap második felétől melegedés és vízhiány (BÍRÓNÉ KIRCSI, 2020; ERDŐDINÉ MOLNÁR és KOVÁCS, 2021). Június hirtelen nagy csapadék: 160 mm helyenként belvíz, de a mélyebb rétegek feltöltődtek. Nyár hátralévő része mérsékelt csapadékos, ősz szárazabb. Éves csapadék: 642,9 mm (2. ábra).

2020/2021

Jan–ápr.: mérsékelt csapadék 20–40 mm/hó, fokozatos melegedés. Május: 60 mm, 15–17°C, majd szokásosnál hűvösebb, kissé csapadékos. Június rendkívül száraz (5 mm), tartós hóhullámmal (SZENTES, 2021); országos napi középhőmérsékleti rekord 28,6 °C (jún. 24.), havi országos közép 21,9 °C; a Telepen 23,82 °C erős vízhiány virágzás/éréskor. Július: 60 mm; aug–szept csapadék csökkent, október ~35 mm. Az év vége hűvös, enyhén csapadékos. Éves csapadék: 406,1 mm (2. ábra).

Alkalmazott statisztikai módszerek

R programnyelv használata a statisztikai értékelésre

Az elemzést R 4.5.1-ben, RStudio 2025.05.1+513-ban végeztük. Használt csomagok: readxl, readr (adatbeolvasás), stringi (szöveg), plyr/dplyr, tidyr (adatkezelés), Hmisc (korreláció), ggplot2 (ábrák). Pearson-korrelációt a Hmisc::rcorr()-ral számoltuk. A boxplot és interaction.plot a stats csomagból szolgált az interakciók vizualizálására. Varianciahomogenitást a stats::bartlett.test() és a car::levene_test() ellenőrizte. Az átfogó többváltozós vizsgálatot stats::manova() futtatta. Normalitást a mvn::mshapiro.test() és mvn() (Henze–Zirkler globális teszt; egyváltozós Shapiro–Wilk; Hardin–Rocke „adjusted” outlier-jelölés; resid() a MANOVA-reziduálok) értékelte, valamint a nortest::lillie.test() (Lilliefors). A csoportkülönbségeket a rstatix::games_howell_test és a stats::t.test (alapértelmezett Welch kétmintás t-próba) vizsgálta. A fazettált átlag±SD oszlopdiagramokat hibasávval és CLD betűkkel plyr/tidyr/ggplot2-vel készítettük.

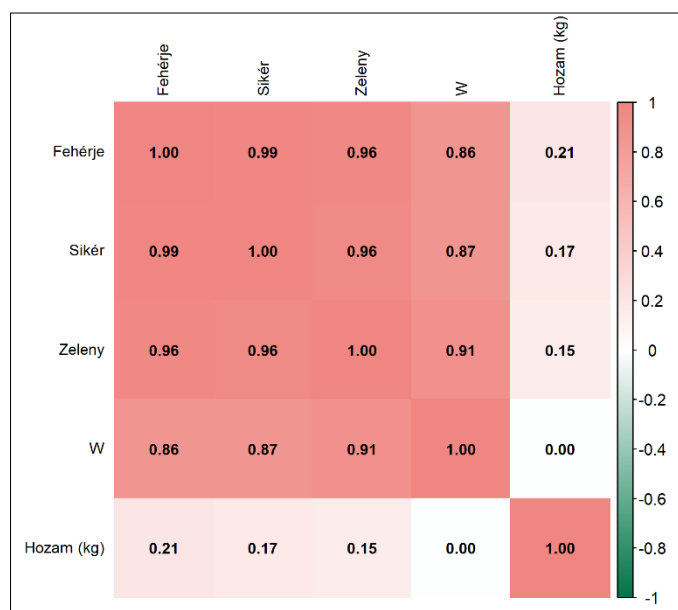
Eredmények

Cél: Megérteni, hogyan befolyásolják a vízszintek és időtartam kezelések a gabona minőségét és hozamát a különböző években.

Adatok: 168 megfigyelés (sor) van (56 liziméter edény *3 év), ami a hozam és minőségi paraméterekre vonatkozik, minden sor egy liziméter edény mérése egy adott év/vízszint/időtartam kombinációval.

Az őszi búza termés eredmények statisztikai elővizsgálata, a függő változók közötti korreláció és a kiugró értékek meghatározására

A Pearson-féle korrelációs együtthatóval vizsgáltam a válaszváltozók (fehérje, sikér, Zeleny érték, hozam) közötti lineáris kapcsolatokat az R szoftver `cor()` és `Hmisc` csomag `rcorr()` függvényeivel. Az eredmények erős pozitív korrelációt mutattak a minőségi paraméterek között, különösen a fehérje és a sikér ($r = 0,989$, $p < 0,001$), a fehérje és a Zeleny érték ($r = 0,961$, $p < 0,001$), valamint a Zeleny ($r = 0,909$, $p < 0,001$) esetében, jelezve, hogy ezek a paraméterek szorosan együtt mozognak a kezelések hatására (3. ábra).

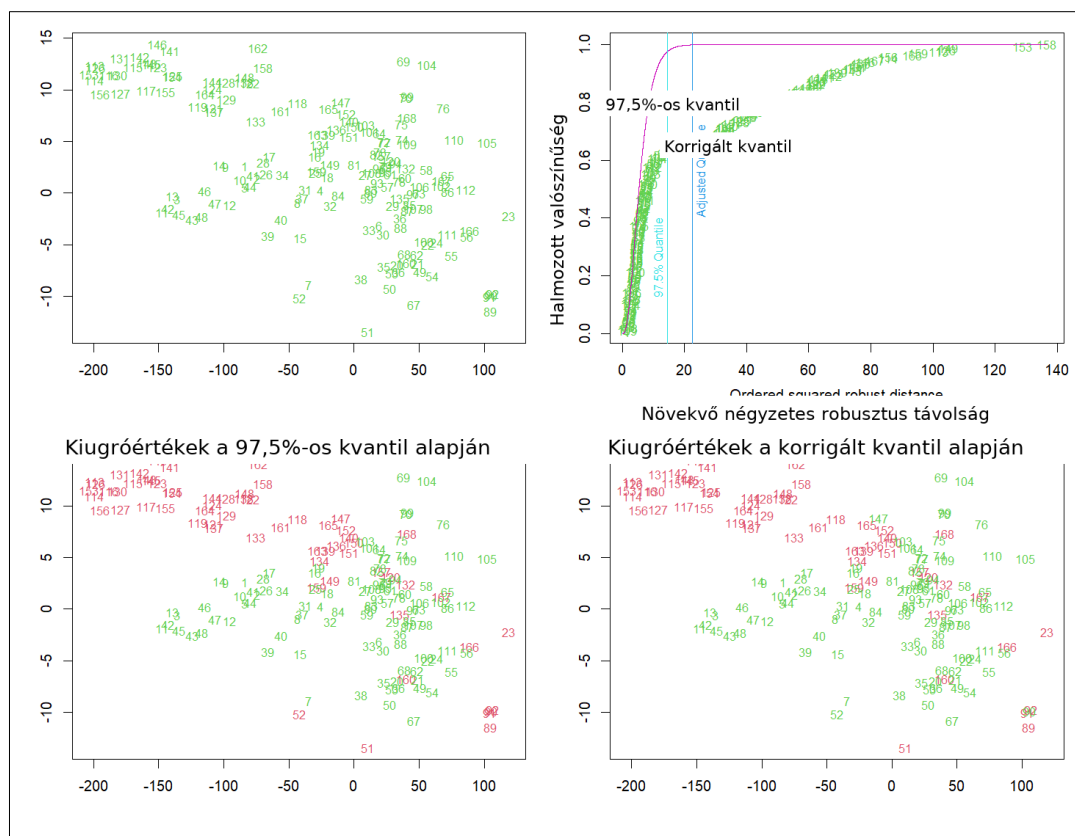


3. ábra Az őszi búza szemtermés minőségi tulajdonságainak korrelációs mátrixa /
Figure 3. Correlation matrix of the quality parameters of winter wheat grain yield

Ezzel szemben a hozam csak mérsékelt korrelációt mutatott a minőségi paraméterekkel ($r = 0,155$ – $0,206$, illetve $r = -0,171$ – $-0,297$).

Ezek az eredmények arra utalnak, hogy a vízszint és időtartam kezelések elsősorban a gabona minőségi tulajdonságait befolyásolják összehangoltan, míg a hozam részben független hatások alatt áll.

Többváltozós kiugróértékek (3. ábra), az `mvoutlier::aq.plot()` függvényt alkalmaztam $\alpha = 0,001$ szignifikanciaszinten.



3. ábra Az őszi búza szemtermés minőségi értékeinek robusztus többváltozós kiugróérték-vizsgálata (RD^2 , kiigazított kvantilis (adjusted quantile), $\alpha = 0,001$) /
Figure 4. Robust multivariate outlier detection of the quality traits of winter wheat grain yield (RD^2 , adjusted quantile, $\alpha = 0.001$)

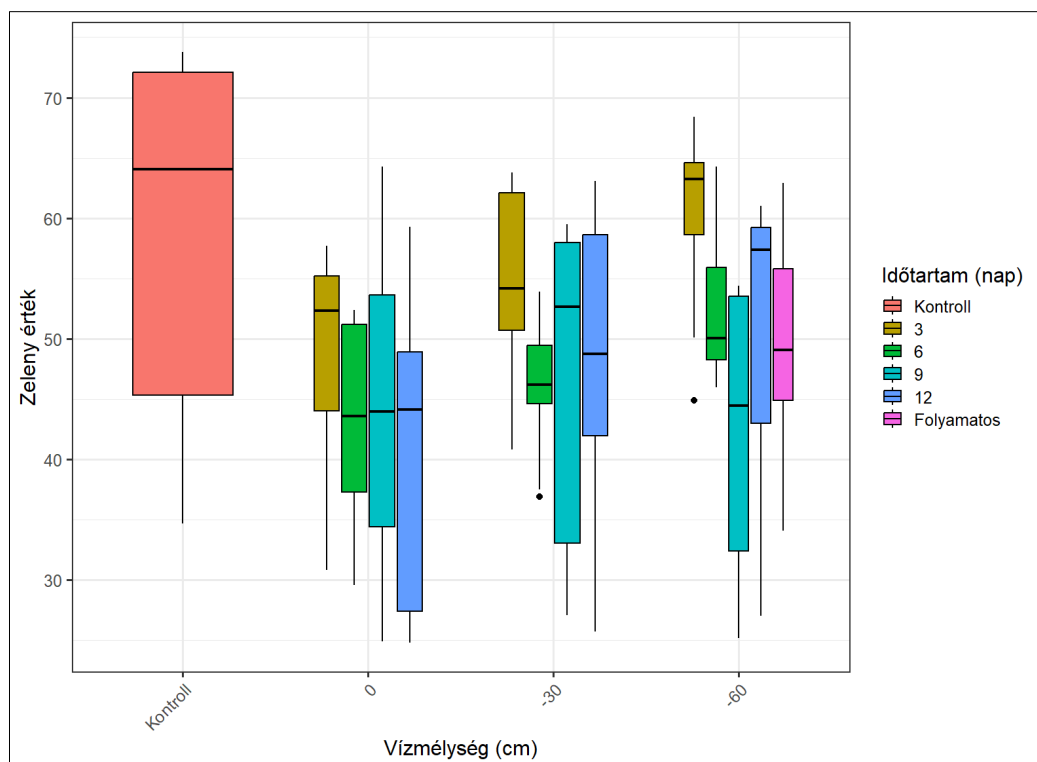
A pontok robusztus Mahalanobis-távolság alapján minősülnek kiugrónak; a felső jobb panel a 97,5%-os és az adjusted küszöböt mutatja, az alsó panelek a kiugró megfigyeléseket színezik (3. ábra). Az egyszerű kiugró értékek észlelésére alkalmazott aq.plot függvény 54 kiugró értéket azonosított a 168 megfigyelésből, ami az adatok 32%-át teszi ki. A módszer robusztus kovariancia-bebecslést és robusztus főkomponens-vetítést használ; nálam az első két robusztus főkomponens a teljes variancia $\sim 97,2\%$ -át magyarázta, ezért a felső bal paneleken látható kétdimenziós pontfelhő a lényegi szerkezetet jól visszaadja.

A felső jobb paneleken a rendezett, négyzetes robusztus távolságok kvantilgörbéje látható, a függőleges vonalak a klasszikus 97,5%-os és az „adjusted quantile” küszöböt jelölik; ez utóbbi a valós adatok (aszimmetria, heteroszkedaszticitás) miatti torzulásokra korrigál, ezért megbízhatóbb. Az outlier-ek főként a 113-146 és 148-168. sorokban koncentráálódtak, míg egyedi kiugrások a 23., 51., 89-92. sorokban fordultak elő. Ez arra utalhat, hogy bizonyos kezelési kombinációk (pl. specifikus év, vízszint vagy időtartam) szokatlan eredményeket produkáltak, vagy adatminőségi problémák állnak fenn, amelyek további ellenőrzést igényelnek a későbbi statisztikai elemzések megbízhatósága érdekében.

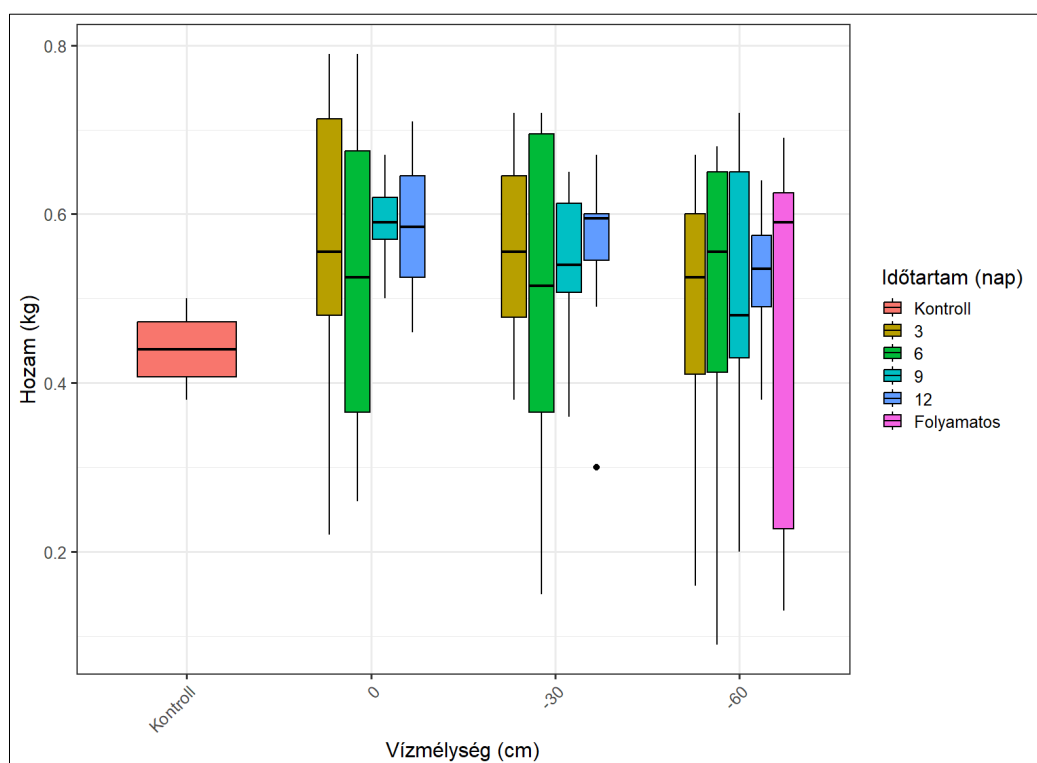
Az őszi búza termésének kétutas (kétfaktoros) dobozdiagram (boxplot) elemzése

Zeleny-érték eloszlása vízszint $\times$ időtartam kombinációk szerint (kétfaktoros boxplot)

A 4. ábrán a Zeleny-értékek eloszlása -30 cm 3 nap és -30 cm 6 nap felső-közép zónában vannak; a Kontroll 6 nap és 0 cm 12 nap inkább alacsonyabb; a -60 cm 12 nap és -30 cm Folyamatos közép–magas. Vizuálisan tehát a minőségi index (Zeleny) is érzékeny a vízszint–időtartam kombinációra; a „0 cm/12 nap” kedvezőtlenebb, a „-60 cm/9 és 12 nap” és több „-30 cm” variáns kedvezőbb (4. ábra).



4. ábra Őszi búza –Zeleny-érték eloszlása vízszint × időtartam kombinációk szerint (kétfaktoros boxplot) / Figure 5. Winter wheat – Distribution of Zeleny values across water level × duration combinations (two-factor boxplot)

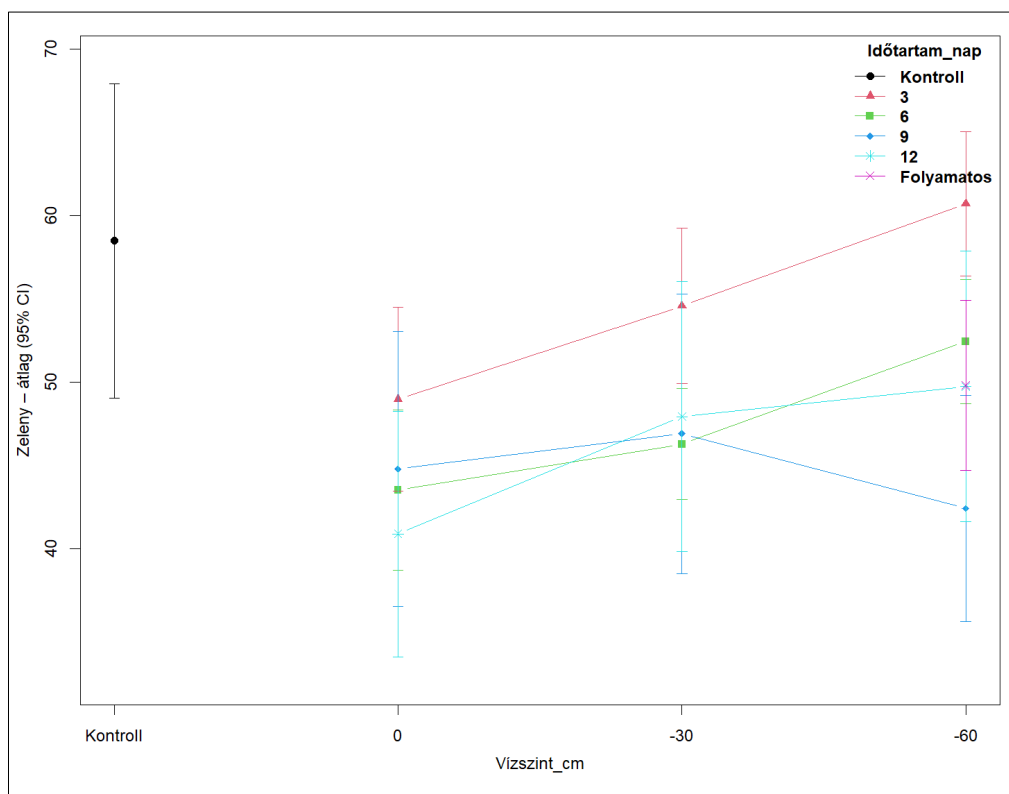


5. ábra Őszi búza –Hozam (kg/liziméter edény) eloszlása vízszint × időtartam kombinációk szerint (kétfaktoros boxplot) / Figure 6. Winter wheat – Distribution of yield (kg per lysimeter tank) across water level × duration combinations (two-factor boxplot)

Hozam (kg/liziméter edény) eloszlása vízszint $\times$ időtartam kombinációk szerint (kétfaktoros boxplot)

A hozam (6. ábra) jóval kiegyensúlyozottabb, mint a minőségi jellemzők. A Kontroll mediánja alacsonyabb; a 3–9 napos tartamoknál, főleg -30 cm mellett (-30 cm 3 nap -30 cm 6 nap, -30 cm 9 nap) a medián magasabb és stabilabb. A 0 cm 12 nap kombináció gyengébb; a -60 cm 12 nap és -30 cm és a Folyamatos közepes–jó tartományba esik, de a -30 és a Folyamatos doboz nagyon magas, ami nagy időbeli/ismétlésbeli szórásra utal. Vizuálisan tehát a hozamra a vízszint hatása markánsabb, az időtartam önmagában kevésbé egyértelmű; ez összhangban áll azzal, hogy a formális elemzésben a hozamra a vízszint és évhatás jellemzően erősebb, míg az időtartam-hatás gyengébb (5. ábra). A 5. ábrán a jelölésnél az első szám a vízszintet vagy a kontrollt jelöli és a mpont utáni érték az időtartamra vonatkozik.

Az őszi búza termésének kétutas (kétfaktoros) interakció diagram (two-way interaction plot) elemzése - Zeleny – vízszint $\times$ időtartam interakció

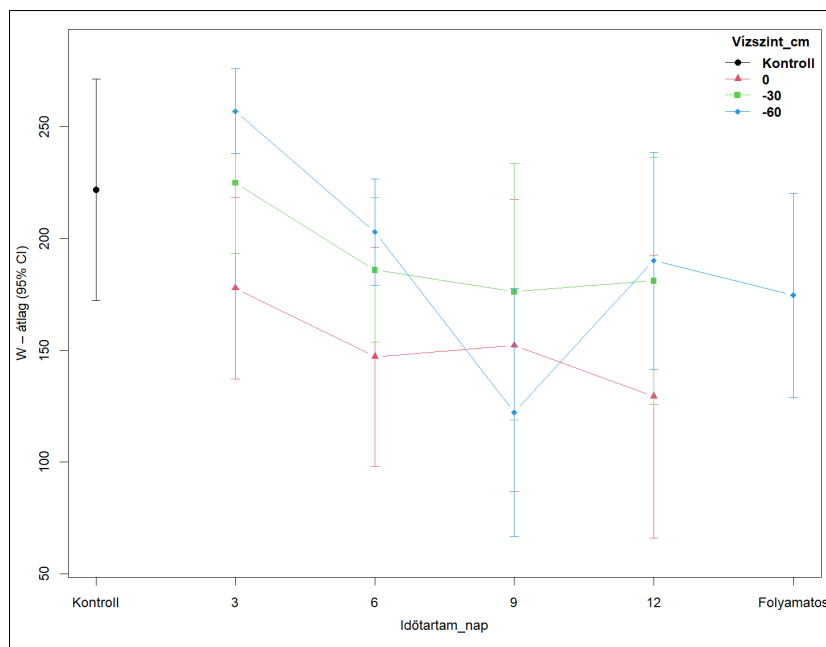


6. ábra Őszi búza –Zeleny-érték – vízszint $\times$ időtartam interakció (x: Vízszint, színezés: Időtartam) / Figure 7. Winter wheat – Zeleny value – water level $\times$ duration interaction (x-axis: Water level, color: Duration)

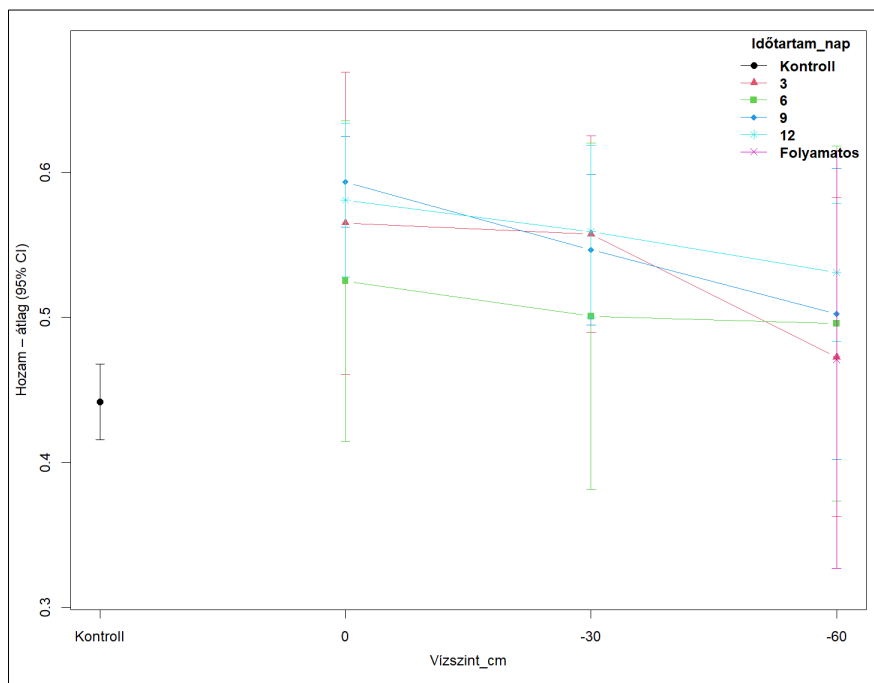
Ez a nem párhuzamos vonalmintázat interakcióra utal. A -30 cm gyakran átmenetet képez a 0 és -60 cm között (6. ábra). A bizonytalanságot jelző hibaoszlopok több esetben fedik egymást, ezért a különbségek értékelését post hoc összehasonlításokkal támasztom alá. A 6. ábrán a rövidebb és hosszabb tartamoknál 0 $\rightarrow$ -60 cm felé általában növekedést látok, míg 9 napnál eltér a trend.

Zeleny – időtartam × vízszint interakció

A 8. ábrán a Zeleny-értékek: 0 cm-en alacsonyabb szint, -60 cm-en U-alak, -30 cm-en köztes értékek. Különösen 9 napnál látszik a visszaesés a mélyebb vízszintnél (8. ábra). A 12 napos beállítás több szinten is javulást hoz. A CI-k átfedése miatt a vizuális különbségek egy részét statisztikai tesztekkel ellenőrzöm.



7. ábra Őszi búza –Zeleny-érték – időtartam × vízszint interakció (x: Időtartam, színezés: Vízszint) / Figure 8. Winter wheat – Zeleny value – duration × water level interaction (x-axis: Duration, color: Water level)



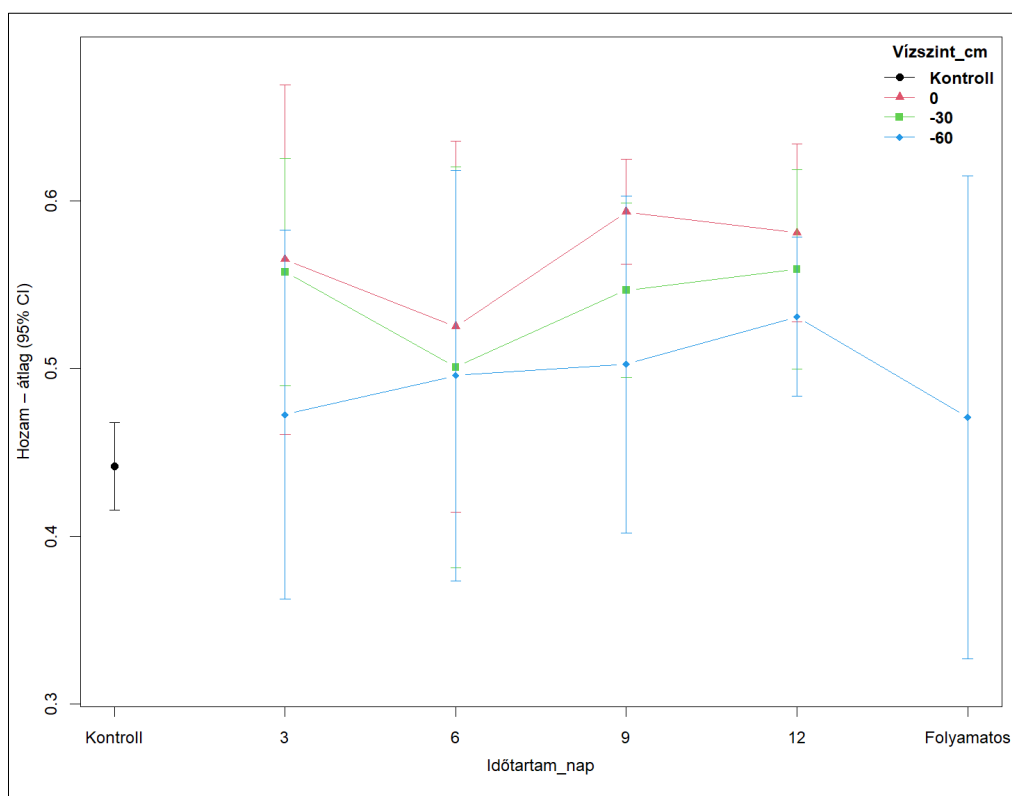
8. ábra Őszi búza – Hozam – vízszint × időtartam interakció (x: Vízszint, színezés: Időtartam) / Figure 9. Winter wheat – Yield – water level × duration interaction (x-axis: Water level, color: Duration)

Hozam – vízszint $\times$ időtartam interakció

A 8. ábrán a vonalak többnyire lejtősek 0 $\rightarrow$ -60 cm felé, tehát a mélyebb vízszint a hozam csökkenésével jár. A különbség több időtartamnál is konzisztens, ami vízszint-domináns hatásra utal. A -30 cm rendszerint köztes, a 0 cm kedvezőbb, a -60 cm kedvezőtlenebb hozamot jelez (8. ábra). A CI-k átfedése miatt a vízszint szerinti rangsort formális tesztekben is ellenőrzöm.

Hozam – időtartam $\times$ vízszint interakció

A 9. ábrán a hozam görbéi többnyire párhuzamosak, ami gyenge interakciót jelez; a vízszint főhatása tűnik meghatározónak. A 0 és -30 cm-es beállítások átlagosan magasabb hozamot adnak, míg -60 cm és a kontroll inkább alacsonyabbat. Időtartam mentén lokális csúcs rajzolódik ki (pl. 9–12 nap körül 0 cm-en), de az eltérés nagysága mérsékeltebb (9. ábra). A CI-k jellemzően átfednek, ezért a végső következtetést további teszt eredményekre alapozom.



9. ábra őszi búza – Hozam – időtartam $\times$ vízszint interakció (x: Időtartam, színezés: Vízszint) / Figure 10. Winter wheat – Yield – duration $\times$ water level interaction (x-axis: Duration, color: Water level)

MANOVA átfogó teszt és utóelemzés Wilk-féle Lambda-próbával

A varianciahomogenitás tesztek után az átfogó két tényezős véletlen blokkos elrendezésű többváltozós varianciaanalízist (MANOVA-t) az öt kimenő változóra (Fehérje, Sikér, Zeleny, Hozam) futtattunk a Vízmélység, Időtartam és Év tényezőkkel, interakcióval (2. táblázat). A vízmélység multivariáns főhatása szignifikáns volt (Wilks $\lambda=0,56417$, approx. $F=6,282$, num $df=15$, den $df=408,96$, $p=5,225 \times 10^{-12}$). Az előtét időtartamának főhatása szintén szignifikáns (Wilks $\lambda=0,55753$, approx. $F=4,737$, num $df=20$, den $df=491,81$, $p=1,533 \times 10^{-10}$) volt. Az Év hatása kiugróan nagy és erősen szignifikáns (Wilks $\lambda=0,02248$, approx. $F=167,834$, num $df=10$,

den $df=296,00$, $p<2,2\times 10^{-16}$) volt. A Vízmélység×Időtartam interakció gyenge, de eléri az 5%-os szignifikancia szintet (Wilks $\lambda=0,74779$, approx. $F=1,492$, num $df=30$, den $df=594,00$, $p=0,04606$). A Wilks λ értékek alapján a hatások erősségének sorrendje: Év >> (Vízmélység $\approx$ Időtartam) > Interakció (2. táblázat). A Reziduumok=152, a reziduális szabadságfokot jelenti, vagyis a hiba (csoporton belül) kovarianciamátrix becsléséhez rendelkezésre álló információ mennyiségét. Az F-próbákban szereplő nevező szabadságfokok (den Df) közelítő mennyiségek, ezért térnek el a 152-től. Mind a vízborítás mélysége, mind annak időtartama kimutathatóan befolyásolja a minőségi mutatók és a hozam közös mintázatát, miközben az évek közötti különbségek dominánsak (2. táblázat). Az átfogó MANOVA összteszt ugyanakkor önmagában nem mutatja meg, mely kimenők dominálnak vagy mi az eltérések iránya, ehhez további univariáns bontások és egyszerű hatások vizsgálata szükséges.

2. táblázat: Az őszi búza termésének és a Vízmélység, Időtartam és Év interakciójának MANOVA átfogó tesztje és utóelemzése Wilk-féle Lambda-próbával / Table 2.

MANOVA overall test and post-hoc analysis (Wilks' Lambda test) of the effects of Water Depth, Duration, and Year interactions on winter wheat yield

Effect	Df	Wilks_lambda	approx_F	num_Df	den_Df	Pr(>F)	Signif
Vízmélység [cm]	3	0,56417	6,282	15	408,96	5,23E-12	*** (0)
Időtartam [nap]	4	0,55753	4,737	20	491,81	1,53E-10	*** (0)
Év	2	0,02248	167,834	10	296	<2,2E-16	*** (0)
Vízmélység [cm] x Időtartam [nap]	6	0,74779	1,492	30	594	0,04606	*(0,05)
Reziduumok	152						

Különálló egyváltozós ANOVA-k ellenőrzése

Az egyváltozós (univariate) ANOVA tesztek részletes elemzésének eredményei arra adnak választ, hogy a MANOVA által kimutatott általános hatások pontosan melyik függő változóra (pl. Zeleny érték, hozam stb.) és milyen mértékben érvényesek. Ez az elemzés tárja fel a vizsgálat legizgalmasabb részleteit. Míg a MANOVA egyetlen, átfogó választ adott, ezek az egyváltozós tesztek külön-külön vizsgálják a mért paramétereket. A legfontosabb tanulság, hogy a vizsgált tényezők nem egyformán hatnak mindenre. Különbség van a minőségi és a mennyiségi mutatók között.

Zeleny (Zeleny-szám)

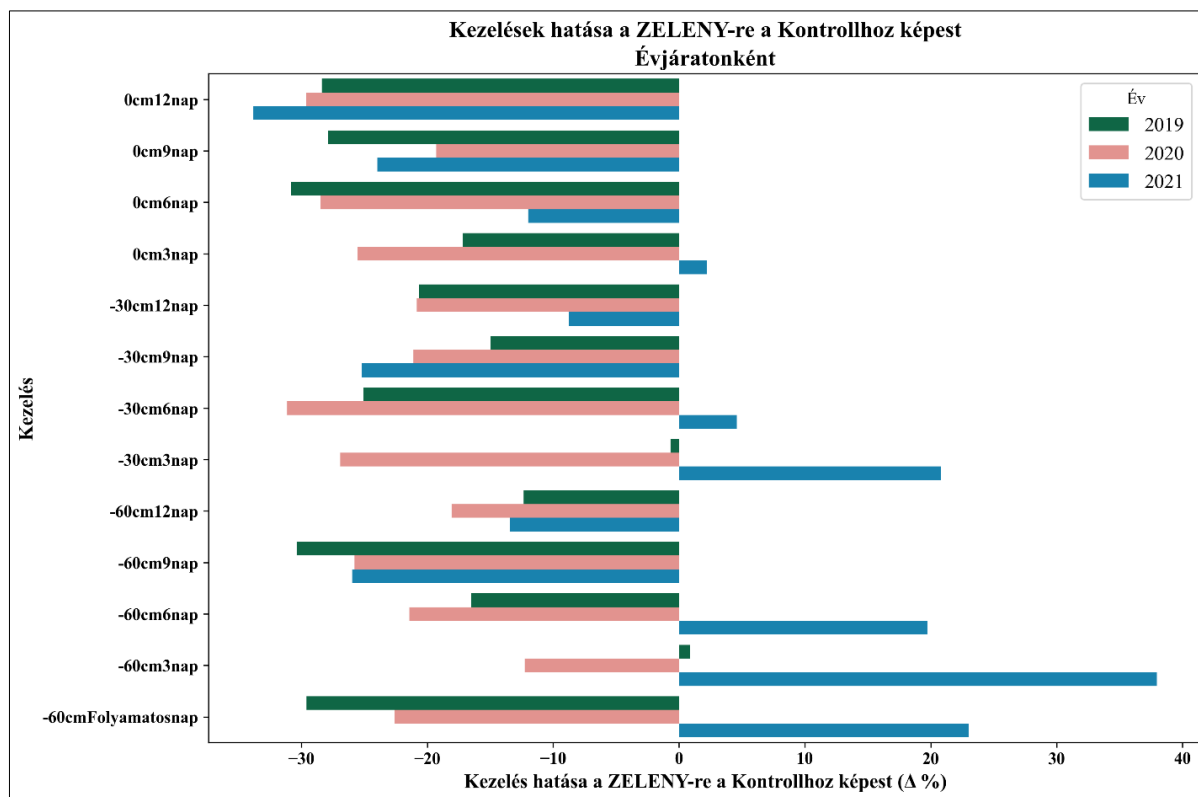
Minden tényező szignifikáns: Minden hatás kimutatható. Erősebb kölcsönhatás: A legfontosabb különbség, hogy a Vízmélység_cm: Időtartam_nap interakció sokkal erősebb ($p=0,0054$, **). Ez azt jelenti, hogy a Zeleny-szám esetében a vízmélység és az időtartam együttes, kombinált hatása különösen hangsúlyos. Hatások erőssége: Az Év ($F=113,8$) hatása itt is kiemelkedő.

Az őszi búza Zeleny-értékének változása a kezelések hatására (2019-2021)

A 10. ábra azt mutatja be, hogy a különböző kezelések milyen mértékben befolyásolták a hozamot az adott év kontrolljához képest három egymást követő évben (2019, 2020, 2021). Jól látható, hogy bizonyos kezelések – például a -60cm 3nap – jelentősen javította 2021-ben a Zeleny-értéket.

Hasonlóan viselkedett az előzőhöz a -30cm 3nap-os kezelés. Egyes kezelések, pl. -60cm folyamatos hatása viszont évről-évre eltérő, míg 2021-ben meglehetősen pozitív, máskor

2019-ben és 2020-ban negatív hatást gyakorolt a Zeleny-értékre. Az 10. ábra rávilágít arra, hogy a kezelések a 2021-es évjárat néhány kezelését (-60cm 3nap;-60cm 6nap;-30cm 3nap;-60cm Folyamatos) leszámítva, inkább negatívan hatnak a Zeleny-értékre.



10. ábra 2019-2021: A kontrollhoz képest a kezelések hatása a Zeleny-értékre /
Figure 11. 2019–2021: Effects of treatments on Zeleny value compared to the control

Games-Howell post-hoc teszt az őszi búza Zeleny-értékére időtartam szerinti összehasonlítások

Részletes eredmények értelmezése csoportonként Zeleny-értékre (időtartam szerinti összehasonlítások) CLD (Compact Letter Display) betűkódos jelölés.

0 cm Vízmélység (Vm0) (kétfázisú talajállapot)

2021: Egyetlen szignifikáns különbség van: a 6 napos kezelés szignifikánsan jobb ($p=0,042$), mint a 12 napos (CLD: 3=A, 6=A, 9=A, 12=B). 2020 és 2019: Egyik évben sem volt statisztikailag kimutatható különbség a különböző időpontokban mintázott kontroll parcellák Zeleny-értékei között (CLD:A, A, A, A).

-30 cm-es Vízmélység (Vm30)

2021-ben -30 cm-en a 9 napos kezelés Zeleny-átlagja szignifikánsan magasabb volt a 3 naposnál ($p = 0,022$) és a 6 naposnál ($p = 0,037$), míg a 12 napos szint „köztes” maradt, nem különbözött sem a 9 napostól, sem a rövidebb időtartamoktól; ezt a CLD is helyesen tükrözi (3 = A, 6 = A, 9 = B, 12 = AB).

2020-ban: -30 cm-en egyetlen pár sem lett szignifikáns, így az összes időtartam azonos betűjelet kap (A). 2019-ben -30 cm-en a 6 napos kezelés szignifikánsan felülmúlta a 3 napost ($p = 0,007$), a 9 és 12 napos pedig átmeneti helyzetben volt (CLD: 3 = A, 6 = B, 9 = AB, 12 = AB).

2019: A 6 napos kezelés szignifikánsan jobb ($p=0,007$) volt a 3 naposnál. Itt is a hosszabb stressznek volt pozitív hatása (CLD: 3=a, 6=b, 9=ab, 12=ab).

-60 cm-es Vízmélység (Vm60)

2021: Nagyon hasonlóan a 30 cm-eshez, a 9 napos kezelés itt is szignifikánsan jobb minőséget adott, mint a 3 napos ($p=0,031$) és a 6 napos ($p=0,004$). (CLD: 3=B, 6=B, 9=A, 12=AB, Folyamatos=AB)

2020: Nagyon komplex hatás. A 9 napos kezelés volt a legjobb, szignifikánsan felülmúlta a 12 naposat ($p<0,001$) és a Folyamatosat ($p=0,017$). Érdekes módon a Folyamatos szignifikánsan rosszabb volt a 12 naposnál is ($p=0,004$), ami egy optimum-görbére utal. (CLD: 3=ABC, 6=ABC, 9=A, 12=B, Folyamatos=C)

2019: Rendkívül erős hatások. A 9 napos és a Folyamatos kezelés is erősen jobb ($p<0,0001$) Zeleny-értéket eredményezett, mint a rövid, 3 napos kezelés. (CLD: 3=A, 6=AB, 9=B, 12=AB, Folyamatos=B)

Welch-féle kétmintás t-próba (Welch Two Sample t-test) az őszi búza Zeleny-értékére a kontrollhoz viszonyítva

2021-ben egyik kezelés sem marad szignifikáns a kontrollhoz képest a Holm-korrekció után. A legkisebb korrigált p-érték is $\sim 0,19$ körül van (pl. 0 cm–12 nap: diff = -13,40; padj = 0,192; 0 cm–9 nap: diff = -9,50; padj = 0,232). A 3 nap / -60 cm kis mintán nyers szinten emelkedést jelzett, de padj = 0,458 $\rightarrow$ nem szignifikáns.

2020-ban viszont széles körű, statisztikailag erős csökkenést látunk a kontrollhoz képest. Szignifikáns (Holm-korrekció utáni) csökkenés több időtartamnál és vízsztintnél is megmarad: 0 cm: 3 nap (diff = -18,55; padj = $3,1 \times 10^{-4}$), 6 nap (-20,68; padj = $3,2 \times 10^{-7}$), 9 nap (-13,99; padj = 0,012), 12 nap (-21,50; padj = 0,020);

-30 cm: 3 nap (-19,55; padj = $2,3 \times 10^{-5}$), 6 nap (-22,60; padj = 0,0051), 9 nap (-15,33; padj = 0,00076), 12 nap (-15,13; padj = 0,0166);

-60 cm: 3 nap (-8,90; padj = 0,0189), 6 nap (-15,55; padj = 0,0126), 9 nap (-18,73; padj = $5,37 \times 10^{-6}$), 12 nap (-13,13; padj = $3,7 \times 10^{-7}$). Ezekhez igen nagy hatásméretűségek társulnak (Hedges g jellemzően -2 és -5 közötti tartományban), ami biológiailag is erős visszaesést jelez.

2019-ben a korrigált tesztek alapján több kezelés szignifikáns csökkenést jelez, de a kép mérsékeltebb, mint 2020-ban. Szignifikáns csökkenés:

0 cm: 3 nap (-10,85; padj = 0,034), 6 nap (-19,48; padj = 0,0028), 9 nap (-17,63; padj = 0,0028), 12 nap (-17,93; padj = 0,0032);

-30 cm: 6 nap (-15,85; padj = 0,00050), 12 nap (-13,05; padj = 0,043);

-60 cm: 6 nap (-10,43; padj = 0,021), 9 nap (-19,20; padj = 0,0032). A „Folyamatos” sor 2019-ben is csökkenést mutat (-18,70; padj = 0,0055). Ezekhez is nagy, többnyire -1,5...-3 közötti Hedges g értékek tartoznak, tehát a különbségek nemcsak statisztikailag, hanem gyakorlati értelemben is számottevők.

Games-Howell post-hoc teszt az őszi búza Zeleny-értékére és vízmélység szerinti összehasonlítások

Részletes eredmények értelmezése csoportonként Zeleny-értékére (vízmélység szerinti összehasonlítások)

3 nap: 2021-ben nincs szignifikáns különbség a vízsztintek között (minden $p \geq 0,156$), a CLD: A,A,A. 2020-ban viszont a -60 cm szint szignifikánsan alacsonyabb a 0 cm-nél (estimate = 9,65; 95% CI: 1,99...17,3; $p = 0,023$) és a -30 cm-nél (estimate = 10,6; 95% CI: 2,82...18,5; $p = 0,019$), míg 0 kontra -30 nem különbözik ($p = 0,672$); ebből a CLD: 0 = -30 = A, -60 = B. 2019-ben a különbségek nem szignifikánsak (minden $p \geq 0,072$), CLD: A,A,A.

6 nap: 2021-ben a 0 cm szint szignifikánsan magasabb a -60 cm-nél (estimate = 12,6; 95%

CI: 5,37...19,8; $p = 0,009$), a -30 kontra -60 és a 0 kontra -30 párok nem szignifikánsak ($p = 0,181$ ill. $0,171$). Ennek megfelelő, minimális különbséget kifejező CLD: $0 = A$, $-30 = AB$, $-60 = B$ (a -30 köztes, mert egyik „szélsőtől” sem tér el bizonyíthatóan). 2020-ban és 2019-ben a 6 napos összevetések mind nem szignifikánsak (minden $p \geq 0,199$).

9 nap: 2021-ben és 2020-ban nincs szignifikáns különbség (minden $p \geq 0,162$). 2019-ben viszont -30 kontra -60 szignifikáns (estimate = -9,75; 95% CI: -18,1...-1,38; $p = 0,031$), ami azt jelenti, hogy -60 cm > -30 cm. Mivel a 0 cm egyikükhöz képest sem különbözik szignifikánsan (0 kontra -30: $p = 0,126$; 0 kontra -60: $p = 0,849$), CLD: $-60 = A$, $0 = AB$, $-30 = B$.

12 nap: 2021-ben egyik pár sem szignifikáns (0 kontra -30: $p = 0,414$; 0 kontra -60: $p = 0,273$; -30 kontra -60: $p = 0,970$), a CI-k mindenhol átfogják a nullát, ezért a CLD helyesen „ $0 = -30 = -60 = A$ ”. Ugyanez a helyzet 2020-ban (minden $p > 0,10$) és 2019-ben is (minden $p \geq 0,098$): 12 napnál tehát egyik évben sem mutatkozik megbízható különbség a vízszintek között, így a CLD mindhárom évben egyszintű („AAA”).

Azokban a cellákban, ahol szignifikancia megjelent, mindig a -60 cm szint állt rosszabbul (alacsonyabb Zeleny), kivéve a 2019/9 nap blokkban, ahol épp ellenkezőleg: -60 cm volt magasabb (negatív estimate -30 kontra -60). A 0 cm szint jellemzően a legkedvezőbb vagy a kedvezőbb csoporttal azonos (2020/3 nap: $0 = -30 > -60$; 2021/6 nap: $0 > -60$, -30 köztes). A nem szignifikáns párok CI-i szélesek és a nullát tartalmazzák, ami szóráskülönbségekkel összhangban van (a Games–Howell épp az eltérő szórás/elem-szám miatt robusztus).

CLD-k összefoglalva (csak az eltérők kiemelve).

– 2020/3 nap: $0 = -30 = A$; $-60 = B$.

– 2021/6 nap: $0 = A$; $-30 = AB$; $-60 = B$.

– 2019/9 nap: $-60 = A$; $0 = AB$; $-30 = B$.

Minden más blokk: A,A,A.

A Zeleny-érték vízszint- és időtartam-kezelések szerint (2019–2021) átlag–szórás hibasávos oszlopdiagram statisztikai elemzése

CLD (Compact Letter Display) betűkódos jelölés:

A két betű két tényezőhöz kapcsolódik: az első (A, B, C...) az időtartam-kezelések közötti összehasonlítást jelzi (függőleges irányban olvasva), míg a második (a, b, c...) a vízmélység-kezelések közötti különbségeket mutatja (vízszintesen olvasva).

A csillagjelölések a kontrolltól való szignifikáns eltérést jelölik a Welch-féle kétmintás t-próba alapján: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; nincs csillag = nincs szignifikáns eltérés.

Az 11. ábra a Zeleny-értékek átlagát és szórását mutatja év $\times$ időtartam bontásban, a vízmélységi szintek (0; -30; -60 cm) szerint. Az oszlopok felett szereplő CLD-jelölések a Games–Howell-teszt alapján csoportosítják a kezeléseket.

A nagybetűk az időtartamok közötti, a kisbetűk a vízmélységek közötti különbségeket mutatják, míg a csillagok a kontrollhoz viszonyított eltérések szignifikanciáját jelzik.

2019 - A kontroll-parcellák mutatták a legmagasabb Zeleny-értéket, több kezelés pedig ettől szignifikánsan alacsonyabb értékeket eredményezett. A 3 napos kezeléseknél a vízmélységek között nem volt szignifikáns különbség (azonos kisbetűk), ugyanakkor mindhárom szint eltért a kontrolltól. A 6 napos kezelésben a -30 cm mélység (Ba**) és a -60 cm (ABa) elkülönülése jelezte, hogy a alacsonyabban tartott vízszint mérsékelte a Zeleny-értéket. A 9 napos kezeléseknél a betűjelölések (Aa, ABa, Ba**) arra utalnak, hogy a hosszabb előntés differenciált, de általánosan csökkentő hatást fejtett ki. A 12 napos kezeléseknél szintén a kontrollhoz viszonyított szignifikáns csökkenés volt megfigyelhető (Aa**, ABa**), a vízmélységek között azonban nem alakult ki markáns különbség. A folyamatos kezelés (Ba**) eredményezte a legalacsonyabb Zeleny-értékeket, egyértelműen elkülönülve az időtartam-kezelésektől is.

2020 - A kontrollhoz képest minden kezelés alacsonyabb Zeleny-értéket adott, több esetben szignifikánsan. A 3 napos kezeléseknél a –60 cm szint (Ab) külön csoportba tartozott.

A 6 napos és 9 napos kezeléseknél a vízmélységek közötti különbség nem volt szignifikáns (azonos kisbetűk), de az értékek a kontrollhoz képest szignifikánsan csökkentek.

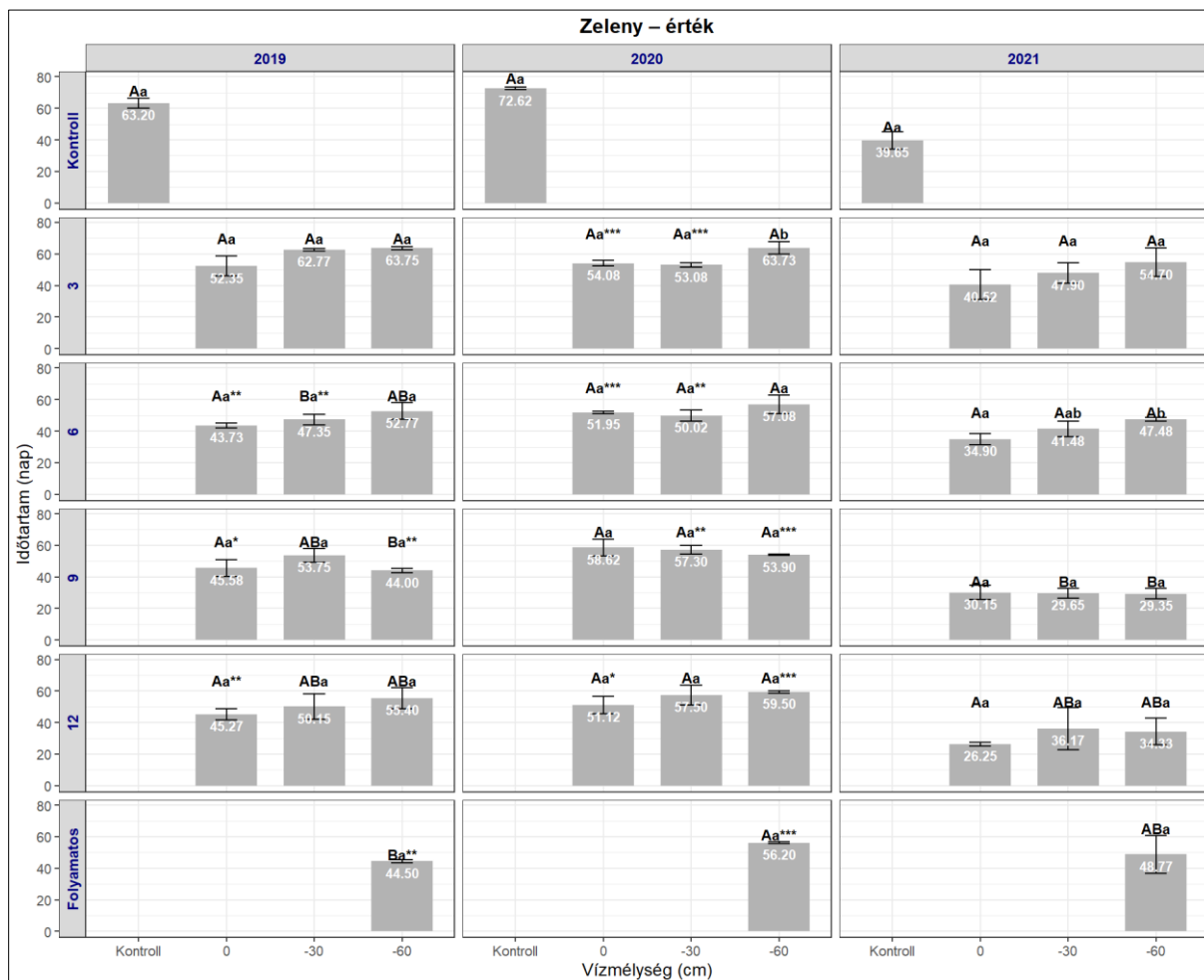
A 12 napos kezeléseknél minden vízmélység egységesen alacsony Zeleny-értéket mutatott, a –60 cm mélység pedig szignifikánsan eltért a kontrolltól (Aa**).

A folyamatos kezelés (Aa***) szintén szignifikánsan alacsonyabb értéket adott, ami a tartós elöntés kedvezőtlen hatására utal.

2021 - A kontroll-kezelések Zeleny-értékei már önmagukban is alacsonyabbak voltak, mint az előző években, és a vízszint-időtartam interakciók hatása kifejezettebben megjelent.

A 3 napos kezeléseknél a –60 cm mélység (Aa) külön csoportot alkotott, a –30 cm-es értékek pedig köztes pozíciót foglaltak el. A 6 napos kezelések (Ba, Aa, Ab) mintázata jelezte, hogy a mélyebb vízszintek tovább csökkentették a Zeleny-értéket. A 9 napos kezeléseknél a –30 cm és –60 cm szintek (Ba, ABa) szintén alacsonyabb értékeket mutattak, és a kontrollhoz viszonyított különbségek is szignifikánsak voltak. A 12 napos kezeléseknél minden vízmélység a kontroll alá esett, de a betűjelölések alapján az egymás közötti eltérés mérsékelt maradt.

A folyamatos elöntés (ABa) ismét a legalacsonyabb Zeleny-értékhez vezetett, és a kontrolltól szignifikánsan eltért.



11. ábra A Zeleny-érték vízszint- és időtartam-kezelések szerint (2019–2021) átlag–szórás hibasávos oszlopdiagram (CLD jelöléssel) / Figure 12. Zeleny value by water level and duration treatments (2019–2021): mean–standard deviation bar chart with error bars (with CLD notation)

Következtetések

Az őszi búza vízszint- és időtartam-kezeléseinek hatását vizsgáló statisztikai elemzés számos jelentős megfigyeléssel szolgált, amelyek mélyebb betekintést nyújtanak a hozam, valamint a minőségi mutatók – különösen a Zeleny-érték alakulásába. Az ANOVA-modellek által kimutatott kölcsönhatások alapján világosan kirajzolódik, hogy sem a vízszint, sem az elárasztás időtartama önmagában nem elegendő a termelési eredmények megbízható előrejelzésére, hanem azok együttes hatása, valamint az évjárat-specifikus környezeti tényezők döntő szerepet játszanak az eredmények alakulásában. A multivariáns statisztikai vizsgálatok egyértelműen kimutatták, hogy az évjárat hatása rendkívül erős a vizsgált változók összességére nézve (Wilks = 0,02248, $p < 2,2e-16$), és a Zeleny-értékre is igaz. Emellett a vízszint és az időtartam főhatásai is szignifikánsan befolyásolták a Zeleny-értékeket. A terméshozam ugyanakkor csak gyenge pozitív korrelációt mutat a Zeleny-érték paraméterekkel ($r = 0,155$), vagyis a hozam növekedése nem feltétlenül jár együtt a minőség javulásával. Ez a megfigyelés is megerősíti, hogy a mennyiségi és minőségi célok elérése eltérő stratégiákat igényelhet.

A Games-Howell post-hoc tesztek szerint a Zeleny-érték esetében a mérsékelt stressz, különösen a 9 napos kezelés a -60 cm-es vízszintnél, szignifikánsan javította a minőséget (pl. 2021, -60 cm, 9 nap vs. 3 és 6 nap: $p = 0,031$ és $p = 0,004$). Ugyanezen körülmények között (pl. 2021, -60 cm, 9 nap), a hozam nem mutatott szignifikáns eltérést a kontrollhoz képest a Welch-féle t-próba szerint ($p = 0,4032$). Ez azt jelzi, hogy a minőségjavulás nem feltétlenül társul hozamnövekedéssel, sőt, más esetekben a hozam csökkenhet is. A 2021-es évben a 0 cm-es vízszint mellett a 6 napos kezelés szignifikánsan csökkentette a hozamot ($p = 0,0496$), míg a 9 és 12 napos kezelések növelték ($p = 0,009$, $p = 0,034$). A kontrollhoz viszonyított eltérések szinte minden esetben a vízszint és az időtartam együttes befolyásától függték. A folyamatos kezelések hatása évjáratonként eltért, ami tovább növeli a technológiai bizonytalanságot.

A hozamvizsgálat során a vízszint és időtartam hatása szintén változatos mintázatot mutatott. A 2020-as évben több kezelés is szignifikáns hozamnövekedést okozott a kontrollhoz képest, míg 2021-ben az eltérések többsége nem volt szignifikáns. A leghatékonyabb kezelések évjáratonként eltérőek voltak, ami ismételten a környezeti feltételek jelentőségére világít rá. A hozamra gyakorolt hatásnál azonban a szignifikancia ritkábban volt kimutatható, és azok is sokszor gyenge hatásnagyságot mutattak. A Zeleny-érték – vizsgálata során egyértelműen kirajzolódott, hogy a mérsékelt vízstressz pozitívan befolyásolja a sütőipari értéket. Ennek oka a koncentrációs hatás, mely során a növény kevesebb keményítőt termel, így a fehérjekomponensek aránya növekszik a szemben. Ezt támasztja alá a statisztikai elemzés is, mely szerint a 9 napos kezelés jellemzően magasabb Zeleny-értékhez vezetett, különösen -60 cm-es vízszint mellett. Ugyanakkor a kontrollhoz viszonyított eltérések évjáratonként erősen különböztek, amit az éves kontrollértékek (pl. 2019: 63,2; 2020: 72,6; 2021: 39,7) is alátámasztanak. A legszigorúbb összehasonlítási alapot a 2020-as év jelentette, ahol a kezelések hatásai jobban előtérbe kerültek.

A multivariáns statisztikai elemzés tovább erősítette az évjáráthatás jelentőségét: a MANOVA szerint az évjárat erősen szignifikáns hatással bírt mind a minőségi mutatók, mind a hozam szempontjából. Emellett a vízszint és időtartam főhatásai is szignifikánsak voltak, és a vízszint-időtartam interakciója szintén befolyásolta a vizsgált paramétereket. A varianciahomogenitás hiánya miatt a Welch-teszt és Games-Howell post-hoc eljárások alkalmazása indokolt volt, amelyek pontosabb különbségek kimutatását tették lehetővé a kezelések között. A fentiek alapján levonható a következtetés, hogy az őszi búza vízszint- és időtartam-kezelésének optimalizálása rendkívül kontextusfüggő.

Egyetlen univerzálisan legjobb kezelés nem létezik; a célhoz (pl. hozammaximalizálás vagy minőségjavítás) igazított, évjárat- és talajállapot-specifikus stratégiákra van szükség. A 9 napos kezelés -60 cm-es vízszint mellett több évben is kedvező kompromisszumot kínált a hozam és

a minőség között, míg a rövid (3 napos) és a folyamatos elárasztás gyakran kedvezőtlenebb eredményeket hozott. A vízszint és időtartam kölcsönhatása is szignifikáns volt több minőségi paraméter esetében – például a Zeleny-indexre vonatkozóan $F = 3,21$, $p = 0,0054$. 2020-ban például a -30 cm-es vízállás mellett a 6 és 12 napos kezelések között szignifikáns hozamkülönbség mutatkozott ($p = 0,009$), ami arra utal, hogy ebben az évjáratban a hosszabb ideig tartó mérsékelt vízstressz kedvezőbb feltételeket teremtett a hozam növekedéséhez. Ugyanez az év mutatta ki azt is, hogy a -60 cm-es vízborítás 9 napos időtartama is szignifikáns hozamnövekedést eredményezett a kontrollhoz képest ($p = 0,005$). Ezek azt jelenti, hogy azonos vízszint mellett nem mindegy, hány napig tart a kezelés, és fordítva: ugyanazon időtartam mellett sem mindegy, milyen talajvízszintű a vízállás. A kezelési döntések meghozatalánál tehát figyelembe kell venni az évjáratra jellemző meteorológiai körülményeket, a talaj vízgazdálkodási sajátosságait, valamint a kívánt termelési célt (pl. malmai vagy takarmánybúza).

Végző soron az elemzés rávilágít arra, hogy a precíziós mezőgazdasági megközelítések különösen fontos lehet nagy területű szántóföldi kultúrák esetében, ahol a térbeli változékonyság és az évjárathatás kezelése kulcsfontosságú a hozam- és minőségoptimalizálás szempontjából.

Hivatkozott források

- ABBASI, H. – EMAM-DJOMEH, Z. – ARDABILI, S.M.S. (2014): Artificial Neural Network Approach Coupled with Genetic Algorithm for Predicting Dough Alveograph Characteristics. *Journal of Texture Studies* 45, 110–120. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12054>
- ARAKI, H. – HAMADA, A. – HOSSAIN, M.A. – TAKAHASHI, T. (2012): Waterlogging at jointing and/or after anthesis in wheat induces early leaf senescence and impairs grain filling. *Field Crops Research* 137, 27–36. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.09.006>
- BAGHERIKIA, S. – SOUGHI, H. – KHODARAHMI, M. – NAGHIPOUR, F. (2025): The Effect of Sowing Dates on Grain Yield and Quality in Spring Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Food Science & Nutrition* 13, e70035. <https://doi.org/10.1002/fsn3.70035>
- BÍRÓNÉ KIRCSI, A. (2020): Súlyos aszály 2020 áprilisában. *Tanulmányok*. URL https://www.met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=2808
- CHEN, J. – YANG, T.T. – YAN, S.H. – YONG, Y.D. – ZHANG, S.Y. – LI, W.Y. (2024): Effects of waterlogging at jointing stage on starch particle size distribution and pasting properties of soft wheat. *Acta Agronomica Sinica(China)* 50, 1877–1884. <https://doi.org/10.3724/SP.J.1006.2024.31072>
- CUI, J. – SHAO, G. – KEABETSWE, L. – LU, J. – DING, J. – YU, S. – HOOGENBOOM, G. (2020): Gas exchange traits, growth and yield attributes in winter wheat under waterlogging stress during anthesis. *International Journal of Agriculture and Biology* 24, pp.179-187. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.1422>
- DE SAN CELEDONIO, R.P. – ABELEDO, L.G. – MIRALLES, D.J. (2014): Identifying the critical period for waterlogging on yield and its components in wheat and barley. *Plant Soil* 378, 265–277. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2028-6>
- DING, J. – HUANG, Z. – ZHU, M. – LI, C. – ZHU, X. – GUO, W. (2018): Does cyclic water stress damage wheat yield more than a single stress? *PLoS ONE* 13, e0195535. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195535>
- DING, J. – LIANG, P. – WU, P. – ZHU, M. – LI, C. – ZHU, X. – GAO, D. – CHEN, Y. – GUO, W. (2020): Effects of waterlogging on grain yield and associated traits of historic wheat cultivars in the middle and lower reaches of the Yangtze River, China. *Field Crops Research* 246, 107695. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107695>

- DINKA, M.O. – NDAMBUKI, J.M. (2014) Identifying the Potential Causes of Waterlogging in Irrigated Agriculture: The Case of the Wonji-Shoa Sugar Cane Plantation (Ethiopia). *Irrigation and Drainage* 63, 80–92. <https://doi.org/10.1002/ird.1791>
- DOUVILLE, H. – ALLAN, R.P. – ARIAS, P.A. – BETTS, R.A. – CARETTA, M.A. – CHERCHI, A. – MUKHERJI, A. – RAGHAVAN, K. – RENWICK, J. (2022): Water remains a blind spot in climate change policies. *PLOS Water* 1, e0000058. <https://doi.org/10.1371/journal.pwat.0000058>
- ERDŐDINÉ MOLNÁR, Z. – KOVÁCS, A. (2021): Aszályos, fagykáros tavasz után nyári csapadéktöbblet – 2020-as év agrometeorológiai áttekintése. *Tanulmányok*. https://www.met.hu/ismeret-tar/erdekesssegek_tanulmanyok/index.php?id=2963&hir=Aszalyos_fagykaros_tavasz_utan_n_yari_csapadektobblet_%E2%80%93_2020-as_ev_agrometeorologiai_attekintese
- ERDŐDINÉ MOLNÁR, Z. – KOVÁCS, A. (2020): 2019-es év agrometeorológiai áttekintése. *Tanulmányok*. https://www.met.hu/ismeret-tar/erdekesssegek_tanulmanyok/index.php?id=2727
- FISCHER, R.A. (1985): Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *Journal Agricultural Science* 105, 447–461. <https://doi.org/10.1017/S0021859600056495>
- FOSS (2014): InfratecTM NOVA Grain Analyser for grain and flour.
- FOSS (2023): InfratecTM NOVA Grain Analyzer Manual. Foss Analytical A/S, Hillerød, Denmark.
- GAILE, Z. – BANKINA, B. – PLUDUMA-PAUNINA, I. – STERNA, L. – BIMSTEINE, G. – SVARTA, A. – KANEPS, J. – ARHIPOVA, I. – SUTKA, A. (2023): Performance of Winter Wheat (*Triticum aestivum*) Depending on Fungicide Application and Nitrogen Top-Dressing Rate. *Agronomy* 13, 318. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020318>
- HERZOG, M. – STRIKER, G.G. – COLMER, T.D. – PEDERSEN, O. (2016): Mechanisms of Waterlogging Tolerance in Wheat—A Review of Root and Shoot Physiology. *Plant, Cell & Environment* 39, 1068–1086. <https://doi.org/10.1111/pce.12676>
- HOSSAIN, M.A. – ARAKI, H. – TAKAHASHI, T. (2011): Poor grain filling induced by waterlogging is similar to that in abnormal early ripening in wheat in Western Japan. *Field Crops Research* 123, 100–108. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.05.005>
- IBADZADE, M. (2021): Assessing the impact of irrigation with agricultural wastewater on aerobic rice (*Oryza sativa* L.). *Doktori értekezés*. Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem. <https://doi.org/10.54598/000840>
- ILYÉS, C. – TURAI, E. – SZŰCS, P. (2018): Examination of rainfall data for 110 years using spectral and wavelet analysis. *Central European Geology* 61, 1–15. <https://doi.org/10.1556/24.61.2018.01>
- JÚNIOR, R.S.N. – ASSENG, S. – GARCÍA-VILA, M. – LIU, K. – STOCCA, V. – VIANNA, M.D.S. – WEBER, T.K.D. – ZHAO, J. (2023): A Call to Action for Global Research on the Implications of Waterlogging for Wheat Growth and Yield. *Agricultural Water Management* 284, 108334. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108334>
- KISS K. – OROSZLÁNYI I. – VAJDAI I. (1981) Gazdálkodás belvizes területeken. *Mezőgazdasági K.*, Budapest, 144.
- KOLOZSVÁRI, I. (2023): Intenzív üzemű halnevelő telep elfolyóvizének öntözéses hasznosítása rövid vágásfordulójú energiafűz ültetvényben és szemescirok kultúrákban. *Doktori értekezés*. Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem (MATE). <https://doi.org/10.54598/004230>
- KUN, Á. (2018): Intenzív üzemű halnevelő-telepről származó szennyvíz mezőgazdasági elhelyezésének és hasznosításának vizsgálata energiafűz kísérletben. *Doktori értekezés*. Szegedi Tudományegyetem, Szeged, Hungary. <https://doi.org/10.14232/phd.4171>

- LI, X. – CAI, J. – LIU, F. – DAI, T. – CAO, W. – JIANG, D. (2014): Physiological, proteomic and transcriptional responses of wheat to combination of drought or waterlogging with late spring low temperature. *Functional Plant Biology* 41, 690. <https://doi.org/10.1071/FP13306>
- LIU, K. – HARRISON, M.T. – ARCHONTOULIS, S.V. – HUTH, N. – YANG, R. – LIU, D.L. – YAN, H. – MEINKE, H. – HUBER, I. – FENG, P. – IBRAHIM, A. – ZHANG, Y. – TIAN, X. – ZHOU, M. (2021): Climate change shifts forward flowering and reduces crop waterlogging stress. *Environmental Research Letters* 16, 094017. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac1b5a>
- MARTI, J. – SAVIN, R. – SLAFER, G.A. (2015): Wheat Yield as Affected by Length of Exposure to Waterlogging During Stem Elongation. *Journal of Agronomy and Crop Science* 201, 473–486. <https://doi.org/10.1111/jac.12118>
- MIRALLES, D.J. – RICHARDS, R.A. – SLAFER, G.A. (2000): Duration of the stem elongation period influences the number of fertile florets in wheat and barley. *Functional Plant Biology* 27, 931. <https://doi.org/10.1071/PP00021>
- NEUKUM, C. – AZZAM, R. (2012): Impact of climate change on groundwater recharge in a small catchment in the Black Forest, Germany. *Hydrogeol Journal* 20, 547–560. <https://doi.org/10.1007/s10040-011-0827-x>
- NOSETTO, M.D. – JOBBÁGY, E.G. – JACKSON, R.B. – SZNAIDER, G.A. (2009): Reciprocal influence of crops and shallow ground water in sandy landscapes of the Inland Pampas. *Field Crops Research* 113, 138–148. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.04.016>
- OZTURK, A. – AYDIN, F. (2004): Effect of Water Stress at Various Growth Stages on Some Quality Characteristics of Winter Wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science* 190, 93–99. <https://doi.org/10.1046/j.1439-037X.2003.00080.x>
- PACHAURI, R.K. – ALLEN, M.R. – BARROS, V.R. – BROOME, J. – CRAMER, W. – CHRIST, R. – CHURCH, J.A. – CLARKE, L. – DAHE, Q. – DASGUPTA, P. (2014): Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *IPCC*.
- PÁLFFY, B. – FEKETE, I. – BARTA, K. (2022): Conceptual Change in Excess Water Management: Soil and Water Quality Issues. *Agrokémia Talajtan* 71, 219–238. <https://doi.org/10.1556/0088.2022.00114>
- PAN, J. – SHARIF, R. – XU, X. – CHEN, X. (2021): Mechanisms of Waterlogging Tolerance in Plants: Research Progress and Prospects. *Frontiers in Plant Science* 11, 627331. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.627331>
- PANG, Y. – WANG, X. – ZHAO, M. – LU, Y. – YAN, Q. – SUN, S. – WANG, Y. – LIU, S. (2022): Identification and Validation of the Genomic Regions for Waterlogging Tolerance at Germination Stage in Wheat. *Agronomy* 12, 1848. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081848>
- PATAY, I. – MONTVAJSZKI, M. (2011): Belvíztestek matematikai modellezése. *Hidrológiai Közlöny*.
- PAUK, J. – LANTOS, C. – CSEUZ, L. – PAPP, M. – ÓVÁRI, J. – BEKE, B. – PUGRIS, T. (2020): 'GK Déva' dihaploid módszer segítségével előállított új őszi búzafajta, in: XXVI. Növénytermesztési Tudományos Napok: Összefoglaló kötet. MTA Agrártudományok Osztálya Növénytermesztési Tudományos Bizottság; Magyar Növénytermesztők Egyesülete, Gabonakutató Nonprofit Közhasznú Kft., Szeged, Hungary, 102.
- PLOCHUK, R.A. – MIRALLES, D.J. – COLMER, T.D. – PLOCHUK, E.L. – STRIKER, G.G. (2018): Waterlogging of Winter Crops at Early and Late Stages: Impacts on Leaf Physiology, Growth and Yield. *Frontiers in Plant Science* 9, 1863. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01863>
- RAKONCZAI, J. – MUCSI, L. – SZATMÁRI, J. – KOVÁCS, F. – CSATÓ, S. (2001): A belvizes területek elhatárolásának módszertani lehetőségei, in: Földrajzi Konferencia, Szeged 2001.

- SANTA, B. – FREI, M. – BAROCSAI, Z. (2025): Improving the water retention properties of our soils. *Hidrológiai Közlemény* 105, 58–71. <https://doi.org/10.59258/hk.19316>
- SHAO, G.C. – LAN, J.J. – YU, S.E. – LIU, N. – GUO, R.Q. – SHE, D.L. (2013): Photosynthesis and growth of winter wheat in response to waterlogging at different growth stages. *Photosynthetica* 51, 429–437. <https://doi.org/10.1007/s11099-013-0039-9>
- SHE, Y. – LI, P. – QI, X. – GUO, W. – RAHMAN, S.U. – LU, H. – MA, C. – DU, Z. – CUI, J. – LIANG, Z. (2022): Effects of Shallow Groundwater Depth and Nitrogen Application Level on Soil Water and Nitrate Content, Growth and Yield of Winter Wheat. *Agriculture* 12, 311. <https://doi.org/10.3390/agriculture12020311>
- SHENG, K. – XU, L. – WANG, M. – LEI, H. – DUAN, A. (2022): The end-use quality of wheat can be enhanced by optimal water management without incurring yield loss. *Frontiers in Plant Science* 13, 1030763. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1030763>
- STATKEVIČIŪTĖ, G. – LIATUKAS, Ž. – CESEVIČIENĖ, J. – JAŠKŪNĖ, K. – ARMONIENĖ, R. – KUKTAITE, R. – BRAZAUSKAS, G. (2022): Impact of Combined Drought and Heat Stress and Nitrogen on Winter Wheat Productivity and End-Use Quality. *Agronomy* 12, 1452. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061452>
- SZÉKELY, Á. (2023): A sóstressz és az alacsony hőmérséklet hatásainak vizsgálata a rizs (*Oryza sativa* L.) fejlődésére *Doktori értekezés*. Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem. <https://doi.org/10.54598/004000>
- SZENTES, O. (2021): Extrém szárazság és forróság 2021 júniusában. *Tanulmányok*. https://www.met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=3049
- WAHREN, A. – RICHTER, F. – JULICH, S. – JANSEN, M. – FEGER, K. (2015): The Influence of More Widespread Cultivation of Short Rotation Coppice on the Water Balance: From the Site to the Regional Scale, in: Manning, D.B. – Bemann, A. – Bredemeier, M. – Lamersdorf, N. – Ammer, C. (Eds.), *Bioenergy from Dendromass for the Sustainable Development of Rural Areas*. Wiley, pp. 45–62. <https://doi.org/10.1002/9783527682973.ch5>
- WOLLMER, A.C. – PITANN, B. – MÜHLING, K.H. (2018): Nutrient deficiencies do not contribute to yield loss after waterlogging events in winter wheat (*Triticum aestivum*). *Annals of Applied Biology* 173, 141–153. <https://doi.org/10.1111/aab.12449>
- WU, J.D. – LI, J.C. – WANG, C.Y. – WEI, F.Z. – ZHANG, Y. – WU, W.M. (2013): Effects of spraying foliar nitrogen on activities of key regulatory enzymes involved in protein formation in winter wheat suffered post-anthesis high temperature and waterlogging. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 11(2): 668–673. <https://doi.org/10.1234/4.2013.4393>
- WU, Q., –TAN, J. – ZHU, J. – WANG, W. – HAN, R. – ZOU, J. (2021): Effects of waterlogging after anthesis on the grain filling characteristics of winter wheat with different waterlogging tolerances. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* 37, 74–81. <https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2021.18.009>
- WU, X. – TANG, Y. – LI, C. – MCHUGH, A.D. – LI, Z. – WU, C. (2018): Individual and Combined Effects of Soil Waterlogging and Compaction on Physiological Characteristics of Wheat in Southwestern China. *Field Crops Research* 215, 163–172. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.10.016>
- WU, X. – TANG, Y. – LI, C. – WU, C. – HUANG, G. (2015a): Chlorophyll Fluorescence and Yield Responses of Winter Wheat to Waterlogging at Different Growth Stages. *Plant Production Science* 18, 284–294. <https://doi.org/10.1626/pps.18.284>
- WU, Y.Q. – LI, C.S. – FAN, G.Q. – WU, X.L. – TANG, Y.L. (2015b): Effect of waterlogging on physical traits and yield of wheat in Sichuan, China. *Chinese Journal of Applied Ecology* 26, 1162–1170.
- YANG, Z. – CAI, L. – HAN, L. – FAN, X. – LIU, X. (2021): Review of standards for near infrared spectroscopy methods. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 29, 313–320. <https://doi.org/10.1177/09670335211042016>

YU, F. – ZHANG, C. – WANG, W. – ZHANG, L. – WANG, Y. – HUANG, Y. – ZHANG, Y. (2025): Effect of Stem Elongation Waterlogging on Wheat Grain Yield, Grain Traits, and Quality of Chinese Southern-Type Steamed Bread. *Agriculture* 15, 459. <https://doi.org/10.3390/agriculture15050459>

Szerzők

Kerezsi György

Tudományos segédmunkatárs

Levelező szerző

Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem, Környezettudományi Intézet,
Környezetanalitikai és Környezettechnológiai Tanszék,
2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1.

kerezsi.gyorgy@uni-mate.hu

Dr. habil. Waltner István

Egyetemi docens

Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem, Környezettudományi Intézet,
Vízgazdálkodási és Klímaadaptációs Tanszék

waltner.istvan@uni-mate.hu

Dr. habil. Géczi Gábor

Egyetemi docens

Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem, Környezettudományi Intézet,
Környezetanalitikai és Környezettechnológiai Tanszék,

geczi.gabor@uni-mate.hu

A műre a Creative Commons 4.0 standard licenc alábbi típusa vonatkozik: [CC-BY-NC-ND-4.0.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

