



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

**TALAJBAKTÉRIUMOK SZEREPE A HIBRIDKUKORICA
SZÁRAZSÁGTŰRÉSÉNEK ÉS ALKALMAZKODÓKÉPESSÉGÉNEK
JAVÍTÁSÁBAN**

DOI: 10.54598/005300

Doktori (PhD.) értekezés tézisei

Kálmán Csaba Dániel

Gödöllő

2024

A doktori iskola

megnevezése: Növénytudományi Doktori Iskola

tudományága: Növénytermesztési és Kertészeti tudományok

vezetője: Dr. Helyes Lajos
Egyetemi tanár, az MTA doktora
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar
Kertészeti Technológiai Intézet

Témavezető(k): Dr. Kiss Erzsébet
Egyetemi tanár, Professor emerita
Genetika és Biotechnológia Intézet
Dr. Posta Katalin
Egyetemi tanár, Intézetigazgató
Genetika és Biotechnológia Intézet

.....
Dr. Helyes Lajos

Iskolavezető jóváhagyása

.....
Dr. Kiss Erzsébet

Témavezető jóváhagyása

.....
Dr. Posta Katalin

Témavezető jóváhagyása

ELŐZMÉNYEK, KITÚZÓTT CÉLOK

A zöld forradalom megjelenésével a huszadik század második felében világméretű fellendülés indult útjára a mezőgazdaságban. Új, magas terméshozamú fajták és hibridek nemesítésével, valamint a műtrágyák, növényvédő szerek és egyéb mezőgazdasági kemikáliák használatának fokozásával a „Green Revolution” jelentősen hozzájárult a növények termelékenységéhez és a terméshozamok növekedéséhez, mellyel emberek millióit kímélte meg az éhezéstől. A terméshozam maximalizálása érdekében a szintetikus inputok túlzott mértékű használata rontotta a szántóföld biológiai, fizikai és kémiai állapotát, ami világszinten a mezőgazdasági termelékenység csökkenő tendenciájához vezetett az elmúlt évtizedekben. Ezen túlmenően a túlzott vegyszerhasználat a talajban olyan ásványi anyagok és tápanyagok felhalmozódásához vezetett, amelyeket a növények nem, vagy csak nehezen képesek hasznosítani, és ez végső soron talajszennyezést és toxicitást eredményezett.

A foszfor a növények számára nélkülözhetetlen tápanyag. Kémiai és biológiai folyamatok révén a talaj összes foszfortartamának csak kis része hasznosítható közvetlenül, és ez a mennyiség nem fedezi a növények teljes foszforigényét. Magyarországon műtrágyázással, szerves-trágyázással és egyéb módokon (például szaporítóanyagok kijuttatásával) végzik a talajok foszfor ellátását, melynek eloszlását tekintve a 2019-2021 évek során a műtrágya kijuttatás került túlsúlyba. Az elmúlt 10 évben átlag 93000 tonna, míg a 2019-2021 évek átlagát tekintve 113000 tonna foszfor hatóanyagot értékesítettek a KSH adatai alapján. A kiadagolt foszforműtrágya hatóanyagának kis százalékát tudja a növény közvetlenül hasznosítani, a többi lekötődik a talajban különböző foszfátok formájában, emiatt a talajok foszformérlege a kiviteli oldal felé billen. Magyarországon az elmúlt 10 év átlagát tekintve -4102 tonna volt a talajok foszfor tápanyagmérlege. Az egységnyi mezőgazdasági területre jutó tápanyagmennyiség átlaga -0,8 kg/ha (KSH, 2022).

A népességnövekedés és klímaváltozás kapcsán egyre relevánsabb a jó termőképességű, biotikus és abiotikus stresszekkel szemben ellenálló fajták és hibridek előállítás. A szárazság és a hőség jelentős környezeti stressz, amely folyamatosan befolyásolja a növények növekedését és fejlődését. A kukorica (*Zea mays* L.) az abiotikus stresszekkel szembeni érzékenységről ismert, ami gyakran jelentős veszteséget okoz a terméshozamban. 2019 és 2020-ban Magyarországon a kukorica átlagtermése elérte a 8,1 t/ha és 8,6 t/ha-t. 2021-ben a terméshozamok átlagosan 6,0 t/ha-t mutattak, amely az előző két évhez mérten 26-30%-os termés kiesést jelentett a kukorica ágazatban

(KSH 2022). Számos alkalmazkodási és enyhítési stratégiára van szükség a szárazság-stresszel szemben. A szárazságtűrés megnyilvánulásához a környezeti tényezők és több gén együttes hatása szükséges. Kialakításához komplex perspektíva indokolt, melyben a biológiai, a genetikai, a nemesítési és az agrotechnikai ismeretek kollektív alkalmazása lehet kifizetődő.

A fenntartható mezőgazdaság előmozdítása a szintetikus mezőgazdasági kemikáliák használatának fokozatos csökkentésére, és azok káros hatásainak mérséklésére irányuló környezetbarát technológiák keresése a biotrágyák és más mikrobiális alapú készítmények felfedezéséhez és későbbi használatához vezetett. A hatékony növényi növekedést serkentő rizobaktériumok (PGPR) aktívan kolonizálják a növények gyökereit, és kölcsönösen hasznos asszociációkat hoznak létre a gazdanövényekkel. A PGPR növényre gyakorolt kedvező hatásai ismertek. Fokozzák a víz és a tápanyagok felvételét és a növény biotikus és abiotikus stressz hatásokkal szembeni védelmét. A PGPR alkalmazása biotrágyaként a szintetikus mezőgazdasági inputok opcionális helyettesítő és kiegészítő környezetkímélő biotechnológiai alternatívája lehet a növénytermesztésben.

Mindezek alapján kutatómunkám kezdetén az alábbi célokat tűztem ki:

1. PGPR-ok foszfát-mobilizáló képességének *in-vitro* tesztelése a feltisztulási zónák átmérője, a foszfát-mobilizáló index és az oldott foszfor koncentráció értékének mérésével.
2. PGPR oltás hatásának vizsgálata a korai növényi növekedés serkentésére koleoptil és radikula változásának nyomon követésével hibridkukorica (GKT 3213, GKT 3385, GKT 376, GK Silostar) csíranövényen.
3. Hogyan befolyásolja a PGPR oltás a hibridkukorica (GKT 3385) fenológiai paramétereinek (növénymagasság, gyökér nedves tömeg, hajtás nedves- és száraz tömeg, vízhasznosítási együttható, nedves tömeg/száraz tömeg aránya, szárazanyag-tartalom) alakulását abiotikus stressz (szárazságstressz) hatására 50%-os nővirágzás és teljes érés fenofázisában?
4. PGPR talajoltás hatására néhány szegedi nemesítésű hibridkukorica (GKT 3213, GKT 3385, GKT 376, GK Silostar) alkalmazkodóképességének vizsgálata néhány, a termést meghatározó tulajdonság (szemtermés mennyisége, betakarításkori szemnedvesség, szem szárazanyag-tartalom) és beltartalmi érték (fehérjetartalom, keményítőtartalom és olajtartalom) nyomon követésével szántóföldi körülmények között.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Kísérleti növények és PGPR-ok

Az üvegházi vizsgálatok során modell növényként a GKT 3385 F1 (korai FAO 390) szemes kukoricát alkalmaztuk. A laboratóriumi és szántóföldi kísérletek során a GKT 3385 mellett, még három genotípust teszteltünk. A GKT 3213 F1 (szuperkorai FAO 230) szemes kukoricát, a GKT 376 F1 (korai FAO 380) szemes kukoricát, és a GK Silostar F1 (középérésű FAO 490) siló kukoricát.

A laboratóriumi kísérletekben az oltási kezeléseket *Bacillus megaterium*, *Bacillus pumilus*, *Pseudomonas fluorescens* és *Pseudomonas putida* izolátumokkal végeztük. A foszfát-mobilizáló képesség vizsgálata során kontrollként *Escherichia coli*t használtunk. A szántóföldi tesztek során három oltási kezelést és egy kezeletlen kontrollt alkalmaztunk. Az első oltóanyag *Bacillus megaterium* és *Pseudomonas fluorescens*, a második *Bacillus pumilus* és *Pseudomonas putida*, a harmadik pedig *Rhodopseudomonas palustris* és *Lactobacillus plantarum* és *Lactobacillus casei* és *Saccharomyces cerevisiae* (Micro-Logi Tech Kft., Szolnok, Magyarország) törzskeverékét tartalmazta.

PGPR aktivitás vizsgálata

A foszfát-mobilizáló képesség vizsgálatához módosított szilárd Pikovskaya táptalajt készítettünk. A tápoldatot a felhasználás előtt sterilizáltuk. 500 ml táptalajból lamináris boxban 10x50 ml-t mértünk ki 9 cm átmérőjű Petri-csészékbe, majd hagytuk megszilárdulni. A tiszta tenyészetekből a Petri-csészékbe oltókaccsal pontoltással 4 ponton oltottuk le a baktériumokat. A kísérletben 5 oltási kezelést, baktériumonként 8 ismétlést alkalmazva, állítottunk be: BM: *Bacillus megaterium*, BP: *Bacillus pumilus*, PF: *Pseudomonas fluorescens*, PP: *Pseudomonas putida*, K: *Escherichia coli* (kontroll). A tenyészeteket termosztátban 30 °C-on 7 napig inkubáltuk. Az inkubációs idő leteltével a tenyészetekről fényképes dokumentációt készítettünk és Fiji ImageJ fényképelemző szoftverrel analizáltuk. A kísérlet során vizsgált tulajdonságok: CD: kolónia átmérője, HD: feltisztulási zóna átmérője, SI: foszfát-mobilizáló index. A trikalcium-foszfát kvantitatív elemzéséhez módosított folyékony Pikovskaya táptalajt készítettünk. A tápoldatot a felhasználás előtt sterilizáltuk. 500 ml táptalajból lamináris boxban 5x100 ml-t mértünk ki 500 ml-es bő nyakú Erlenmeyer-lombikokba. A kísérletben öt kezelést állítottunk be. Négy baktérium kezelt és egy kezeletlen kontroll. A tiszta tenyészetekből oltókaccsal oltottuk le a baktériumokat, majd a lombikokat folpack fóliával lezártuk. A kontroll csoportot nem oltottuk. A kísérletben 5 oltási

kezelést, baktériumonként 4 ismétlést alkalmazva, állítottuk be: BM: *Bacillus megaterium*, BP: *Bacillus pumilus*, PF: *Pseudomonas fluorescens*, PP: *Pseudomonas putida*, K: oltás nélküli módosított folyékony Pikovskaya táptalaj (kontroll). A tenyészeteket rázótermosztátban 28 °C-on 7 napig inkubáltuk. Az inkubációs idő végén a tenyészeteket centrifugáltuk. A felülúszó oldható szerves foszfát koncentrációját molibdénkéék módszerrel (Murphy és Riley 1962), spektrofotométerrel határoztuk meg. A kísérlet során vizsgált tulajdonság: PC: szerves foszfát koncentráció.

Növényi növekedést serkentő hatás vizsgálata során a magok (GKT 3213 F1, GKT 3385 F1, GKT 376 F1, GK Silostar F1) felszínét fertőtlenítettük. A felületi sterilizálás után termosztátban 9 cm átmérőjű Petri-csészékben nedves szűrőpapíron csíráztattuk 48 órán keresztül. A beteg és nem csírázott magokat szelektáltuk, a megmaradt egészséges csírákat 9 cm átmérőjű Petri-csészékbe szűrőpapírra tettünk. A kísérlet során a baktériumokat (*Bacillus megaterium*, *Bacillus pumilus*, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas putida*) folyékony Luria Bertani táptalajban tenyésztettük. A tápoldatot a felhasználás előtt sterilizáltuk. 1000 ml Luria Bertani táptalajból lamináris boxban 5x100 ml-t mértünk ki 500 ml-es bő nyakú Erlenmeyer-lombikokba. A tiszta tenyészetekből a tápközegekbe a baktériumokat oltókaccsal oltottunk, majd a lombikokat folpack fóliával lezártuk. A beoltást követően öt napon keresztül rázótermosztátban 28 °C-on 180 rpm sebességgel inkubáltuk. Az inkubációs idő végén a tenyészeteket centrifugáltuk. A felülúszót leöntöttük, és a pelletet steril reverz ozmózis (RO) rendszerrel tisztított vízben 100 ml-ig hígítottuk. A bakteriális oldat optikai sűrűségét spektrofotométerrel ellenőriztük. A kísérletben öt oltási kezelést állítottunk be. Négy baktérium kezelt és egy kezeletlen kontroll. A baktérium kezelt csírákat pipettával 5 ml baktérium szuszpenzióval oltottuk, majd 4 napig termosztátban 21 °C-on inkubáltuk. A kontroll csoportot nem oltottuk. A csírákat hibridenként 5 oltási kezeléssel 8 ismétléssel vizsgáltuk: BM: *Bacillus megaterium*, BP: *Bacillus pumilus*, PF: *Pseudomonas fluorescens*, PP: *Pseudomonas putida*, K: oltás nélküli csírák (kontroll). Az inkubációs idő leteltével a magokról leválasztottuk a csíranövényeket. Külön preparáltuk a koleoptilokat és a radikulákat és fényképes dokumentációt készítettünk, majd Fiji ImageJ fényképelemző szoftverrel analizáltuk. A kísérlet során rögzített tulajdonságok: CL: koleoptil hossza, RL: radikula hossza, SVI: csírázási vigor index. A kísérlethez válogatott egészséges csírákat használtunk így a csírázási százalékot (GP) 100 %-nak tekintjük. A koleoptilok és radikulák

hosszának meghatározásával kiszámítottuk a csírázási vigor indexet (SVI, Seedling Vigor Index).

A szárazságstressz faktor elleni tolerancia fokozásának vizsgálata során a tenyészedényes kísérletben a magok (GKT 3213 F1, GKT 3385 F1, GKT 376 F1, GK Silostar F1) felszínét fertőtlenítettük. A magokat 4 kg sterilizett közegben (1:1 arányban homok és Garri darált fekete tőzeg keverék (szervesanyag tartalom: >40% m/m%; pH: 7.0±0.5) + 20g/cserép Compo Trio (NPK 12:8:16(+3) EK, 90 napos folyamatosan felszívódó műtrágya) neveltük. A kísérlet során a baktériumokat (*Bacillus megaterium*, *Bacillus pumilus*, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas putida*) folyékony Luria Bertani táptalajban tenyésztettük. A tápoldatot a felhasználás előtt sterilizáltuk. 1000 ml Luria Bertani táptalajból lamináris boxban 5x100 ml-t mértünk ki 500 ml-es bő nyakú Erlenmeyer-lombikokba. A tiszta tenyészetekből a tápközegbe a baktériumokat oltókacsal oltottunk, majd a lombikokat folpack fóliával lezártuk. A beoltást követően öt napon keresztül rázótermosztátban 28 °C-on 180 rpm sebességgel inkubáltuk. Az inkubációs idő végén a tenyészeteket centrifugáltuk. A felülúszót leöntöttük, és a pelletet steril reverz ozmózis (RO) rendszerrel tisztított vízben 100 ml-ig hígítottuk. A bakteriális oldat optikai sűrűségét spektrofotométerrel ellenőriztük. A kísérletben öt oltási kezelést állítottunk be. Négy baktérium kezelt és egy kezeletlen kontroll. A kezelt növények tápközegéhez a vetéssel egy időben 5 cm mélyen, közvetlenül a mag környezetébe, 10 ml baktériumsuszpenziót oltottunk. A kísérlet során a közeg nedves tömegét (WW) megmértük, majd súlyállandóságig szárítottuk 70 °C-on, és a száraztömegét (DW) is megmértük. A tápközeg nedves és száraztömegének ismeretében meghatároztuk annak nedvességtartalmát tömegszázalékban. Vetéskor a közeg nedvességtartalmát a tápközeg vízkapacitásának 70 %-ára állítottuk be. Két öntözési kezelést határoztunk meg, optimális vízellátottság (O) mellett 4840 g-ra, vízmegvonás mellett (S) 4240 g-ra öntöztük a növényeket. Az öntözést csapvízzel kétnaponta végeztük egyéni súlymérés alapján. A növényeket üvegházban fűthető kabinban 22-24 °C hőmérsékleten 5⁰⁰-7⁰⁰ óráig tartó pótmegvilágítással neveltük. Mindezek alapján az alábbi kezeléseket 4-4 ismétlést alkalmazva állítottuk be: BM: *Bacillus megaterium*, BP: *Bacillus pumilus*, PF: *Pseudomonas fluorescens*, PP: *Pseudomonas putida*, K: oltás nélküli növények (kontroll), O: optimális vízellátottság, S: vízmegvonás. A kísérlet során két alkalommal történt adatfelvételezés. Az első mintavétel a növények R1 fenofázisában (50% nővirágzás) történt, a második mintavételt a növények R3

állapotában (tejes érés) tartottuk meg. A kísérlet során rögzített tulajdonságok: PH: növénymagasság, FWR: gyökér nedves tömeg, FWB: hajtás nedves tömeg, DWB: hajtás száraz tömeg, WUE: vízhasznosítási együttható, FW/DW: nedves tömeg/száraz tömeg aránya, DMC: szárazanyag-tartalom.

A hibridek alkalmazkodóképességének vizsgálata talajoltás hatására szántóföldi körülmények között

A kísérletet három egymást követő évben (2019, 2020, és 2021) állítottuk be a Gabonakutató Nonprofit Közhasznú Kft. kiszombori kukorica tenyészkertjében. Az oltóanyagokhoz a baktériumokat (*Bacillus megaterium*, *Bacillus pumilus*, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas putida*) folyékony Luria Bertani táptalajban tenyésztettük. A tápoldatot a felhasználás előtt sterilizáltuk. 1000 ml Luria Bertani táptalajból lamináris boxban 4x100 ml-t mértünk ki 500 ml-es bő nyakú Erlenmeyer-lombikokba. A tiszta tenyészetekből a tápközegekbe a baktériumokat oltókacccsal oltottunk, majd a lombikokat folpack fóliával lezártuk. A beoltást követően öt napon keresztül rázótermosztátban 28 °C -on 180 rpm sebességgel inkubáltuk. Az inkubációs idő végén a tenyészeteket centrifugáltuk. A felülúszót leöntöttük, és a pelletet steril reverz ozmózis (RO) rendszerrel tisztított vízben 500 ml-ig hígítottuk. A bakteriális oldat optikai sűrűségét spektrofotométerrel ellenőriztük. A hibrideket (GKT 3213 F1, GKT 3385 F1, GKT 376 F1, GK Silostar F1) 3 ismétléses véletlen blokk elrendezésű 4 soros kisparcellás kísérleti rendszerben vizsgáltuk. Őszi búza (*Triticum aestivum*) elővetemény után a kísérleti területeket novemberben 28-32 cm mélyen szántottuk. A szántást követően őszi alaptrágyaként 250 kg /ha Genezis NPK-8:21:21 kompakt műtrágyát juttattunk ki műtrágyaszóróval. Tavaszi alaptrágyázásként márciusban 300 kg/ha Genezis pétisót adtunk ki. A magágykészítést áprilisban függesztett kombinátorral végeztük. A talajt májusban vetés előtt három oltóanyaggal oltottuk. Az első oltóanyag *Bacillus megaterium* és *Pseudomonas fluorescens* (KD1), a második *Bacillus pumilus* és *Pseudomonas putida* (KD2), a harmadik pedig *Rhodopseudomonas palustris* és *Lactobacillus plantarum* és *Lactobacillus casei* és *Saccharomyces cerevisiae* (MLT) (Micro-Logi Tech Kft., Szolnok, Magyarország) törzskeverékét tartalmazta. Kontrollként (K) oltatlan területet használtunk. Az oltáshoz 1 l baktérium szuszpenzió + 13 l csapvíz keverékét önjáró szántóföldi permetezővel permeteztük kezelésenként 252 m² területen a talaj felületére. Az oltóanyagot kijuttatás után 10 cm mélyen a talajba dolgoztuk. A magokat 5 cm mélységbe 70 cm sortávolsággal és 22,3 cm tőtávolsággal vetettük önjáró

parcellavetőgéppel. A növények tőszámát 60000 tő/ha-ra állítottuk be. Vetés után korai posztemergens gyomírtást végeztük önjáró szántóföldi permetezővel. 2019-ben 0,4 l/ha széles hatásspektrumú gyomirtószert alkalmaztunk (Adengo, Bayer Crop Science). 2020-ban és 2021-ben 400 g/ha teljes hatásspektrumú gyomirtószert alkalmaztunk (Principal Plus + Successor T, Corteva Agriscience). A sorközöket kultivátorral műveltük. A betakarítást októberben parcellakombájnnal végeztük. A fent említettek alapján a kísérletben 4 hibridkukorica genotípusra 4 oltási kezelést, 3 ismétlést alkalmazva, állítottuk be: KD1: *Bacillus megaterium* + *Pseudomonas fluorescens*, KD2: *Bacillus pumilus* + *Pseudomonas putida*, MLT: *Rhodopseudomonas palustris* + *Lactobacillus plantarum* + *Lactobacillus casei* + *Saccharomyces cerevisiae*, K: oltás nélküli (kontroll). Az adatfelvételezések betakarításkor, illetve a feldolgozás során történtek. A termést meghatározó tulajdonságok közül az alábbiakat rögzítettük: GY: szemtermés mennyisége, WC: betakarításkori szemnedvesség, DMC: szem szárazanyag-tartalma. A beltartalmi értéket meghatározó tulajdonságok közül az alábbiakat mértük: PC: szem fehérjetartalma, SC: szem keményítőtartalma, OC: szem olajtartalma.

A 2019-es és a 2020-as év kukoricatermesztés szempontjából intenzív évnél tekinthető a meleg és csapadékos időjárás miatt. A 2021-es év viszont kedvezőtlen volt, a magas hőmérséklet, a tartós csapadékhiány és a virágzáskori légköri aszály miatt, amely a növények termésátlagát is negatívan befolyásolta.

Az átlaghőmérséklet és a csapadék mennyisége a kukorica tenyészidejében 2019-2021-ig

Hónap	Áh (°C) 2019	Cs (mm) 2019	Áh (°C) 2020	Cs (mm) 2020	Áh (°C) 2021	Cs (mm) 2021
Április	13,14	29,5	11,91	5	9,03	25,2
Május	14,85	125,6	15,12	26	15,26	55
Június	22,81	117,9	20,30	150,4	22,62	21,8
Július	22,23	63,2	22,25	79,8	25,33	28,3
Augusztus	23,95	17	23,64	46,5	22,45	23,4
Szeptember	18,10	62,5	19,44	22,5	17,96	25,8
Átlag	19,18	415,7	18,78	330,2	18,78	179,5
TX30GE (db)	58		42		54	
TX35GE (db)	2		0		16	

Áh: átlaghőmérséklet (°C), Cs: csapadékmennyiség (mm), TX30GE: hőségnapok (db), TX35GE: forró napok (db)

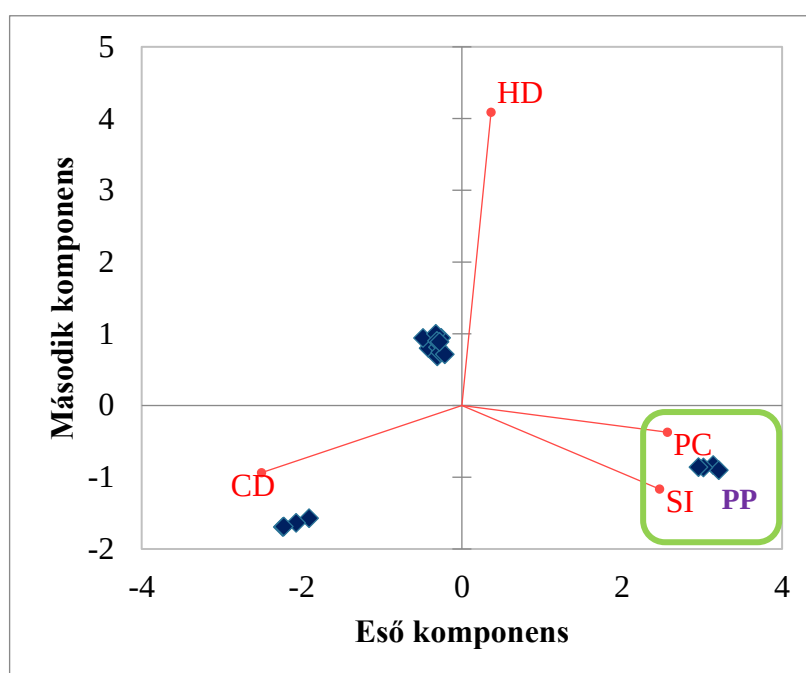
Az összegyűjtött adatok elemzése Microsoft Excel 2019 XLSTAT szoftverrel történt.

EREDMÉNYEK

PGPR aktivitás vizsgálata

A foszfát-mobilizáló képesség vizsgálata

A főkomponens vizsgálatot a kolónia átmérője (CD), feltisztulási zóna átmérője (HD), foszfát-mobilizáló index (SI), szervesen foszfát koncentráció (PC) adatai alapján végeztük. Pozitív összefüggést találtunk a baktériumok foszfát-mobilizáló indexe és a szervesen foszfát koncentráció mértéke között. A PP-vel jelölt baktérium kezelés volt a leghatékonyabb foszfát feltáró a kísérlet során vizsgált törzsek közül. Az első két komponens az összes összefüggés 71,49%-át magyarázza, foszfát-mobilizáló potenciálnak tekinthetjük.

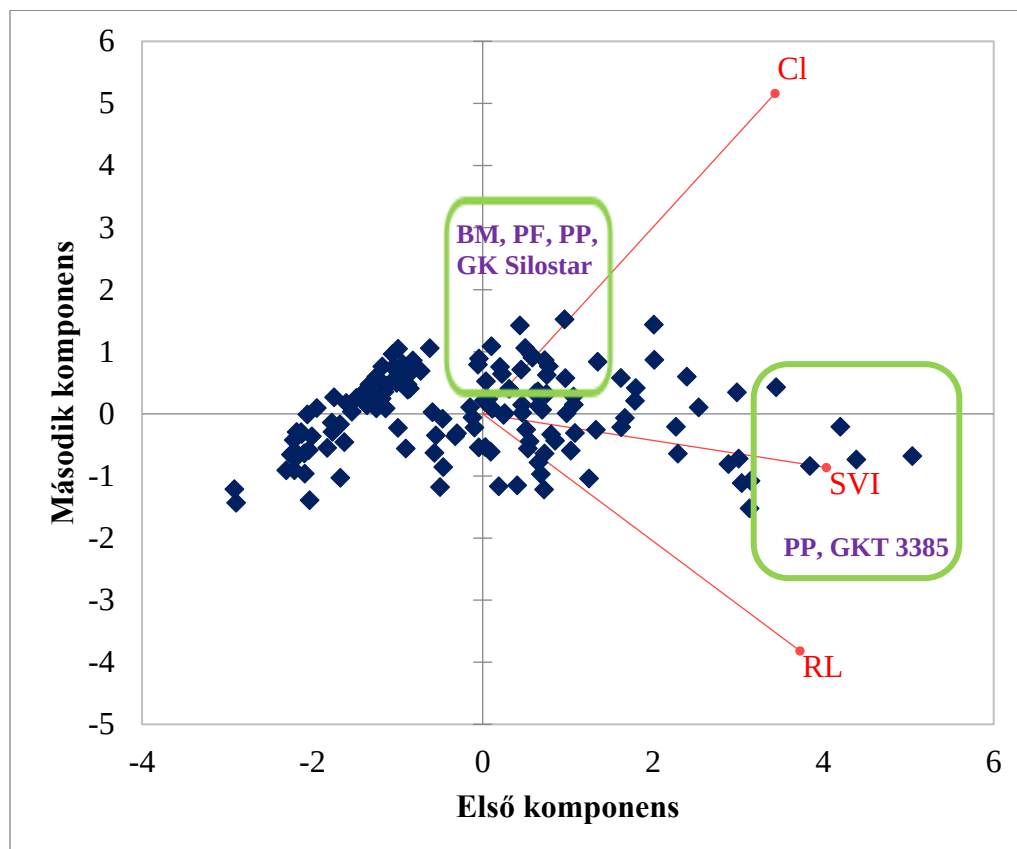


A főkomponens analízis eredménye a vizsgált tulajdonságok adatai alapján

CD: kolónia átmérő, HD: feltisztulási zóna átmérő, SI: foszfát-mobilizáló index, PC: foszfát koncentráció, PP: *Pseudomonas putida*.

Növényi növekedést serkentő hatás vizsgálata

A főkomponens vizsgálatot a koleoptil hossza (CL), radikula hossza (RL) és a csírázási vigor index (SVI) adatai alapján végeztük. A kísérlet során vizsgált törzsek közül a PP-vel jelölt baktérium oltás a GKT 3385-ös és a GK Silostar hibridek, valamint a BM-mel és PF-fel jelölt baktérium oltások a GK Silostar csíranövényeinek növekedését serkentette. Az első két komponens az összes összefüggés 85,15%-át magyarázza, növekedést serkentő potenciálnak tekinthetjük.



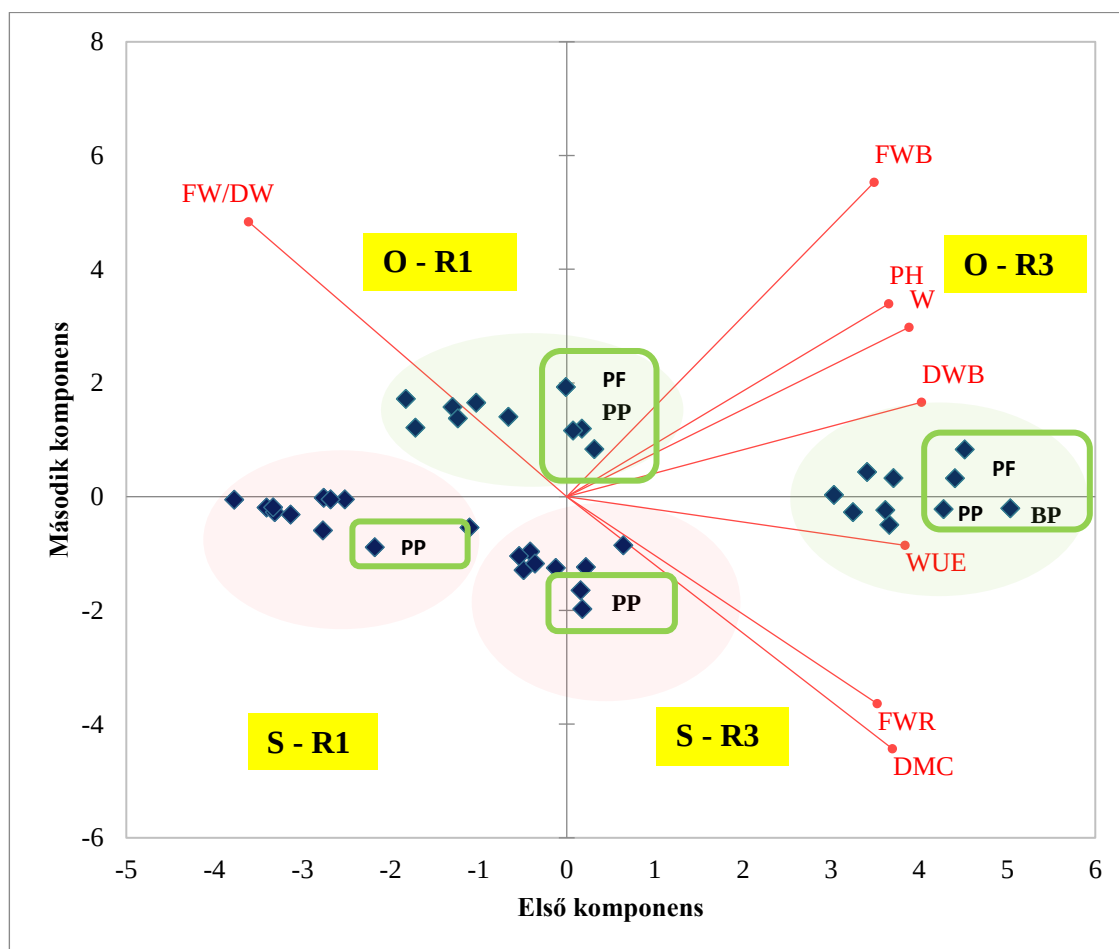
A főkomponens analízis eredménye a vizsgált tulajdonságok adatai alapján

KL: koleoptil hossza, RL: radikula hossza, SVI: csírázási vigor index, BM: *Bacillus megaterium*, PF: *Pseudomonas fluorescens*, PP: *Pseudomonas putida*.

Szárazságstressz faktor elleni tolerancia fokozásának vizsgálata

A megfelelő vízellátottságú növények a kísérlet alatt átlag 421 ml vizet vettek fel, míg a stressz alatt álló növények mindössze csak 206 ml vizet kaptak. A differencia a két kezelés között átlag 215 ml, ami az optimális körülmények között fejlődő növényekhez képest egy jelentős, közel 50%-os vízmegvonást jelentett. A címerhányáskor (VT) és teljes érés fázisában (R3) mindkét kezelés esetében megnövekedett vízigényt tapasztaltunk a növényeknél. A főkomponens vizsgálatot a vízigény (W), növénymagasság (PH), gyökér nedves tömeg (FWR), hajtás nedves tömeg (FWB), hajtás száraz tömeg (DWB), vízhasznosítási együttható WUE), nedves tömeg/száraz tömeg aránya (FW/DW), szárazanyag-tartalom (DMC) adatai alapján végeztük. A kísérlet során vizsgált törzsek közül az ábrán PP-vel jelölt baktérium oltás vízmegvonás során csökkentette a GKT 3385-ös hibrid nedves tömeg/száraz tömeg arányát a kontroll növényekhez képest az 50%-os nővirágzás szakaszában, és a szárazanyag-tartalom értékét növelte a teljes érés fázisában. Optimális vízellátottság mellett a PF-fel és PP-vel jelölt kezelés 50%-os nővirágzáskor magasabb

növénymagasságot eredményezett a kontroll növényekkel szemben. Tejes érés fázisában a PP-vel, a PF-fel és a BP-vel jelölt oltási kezelés a kontrollhoz viszonyítva serkentette a növények gyökérfejlődését. Az első két komponens az összes összefüggés 81,30%-át magyarázza.



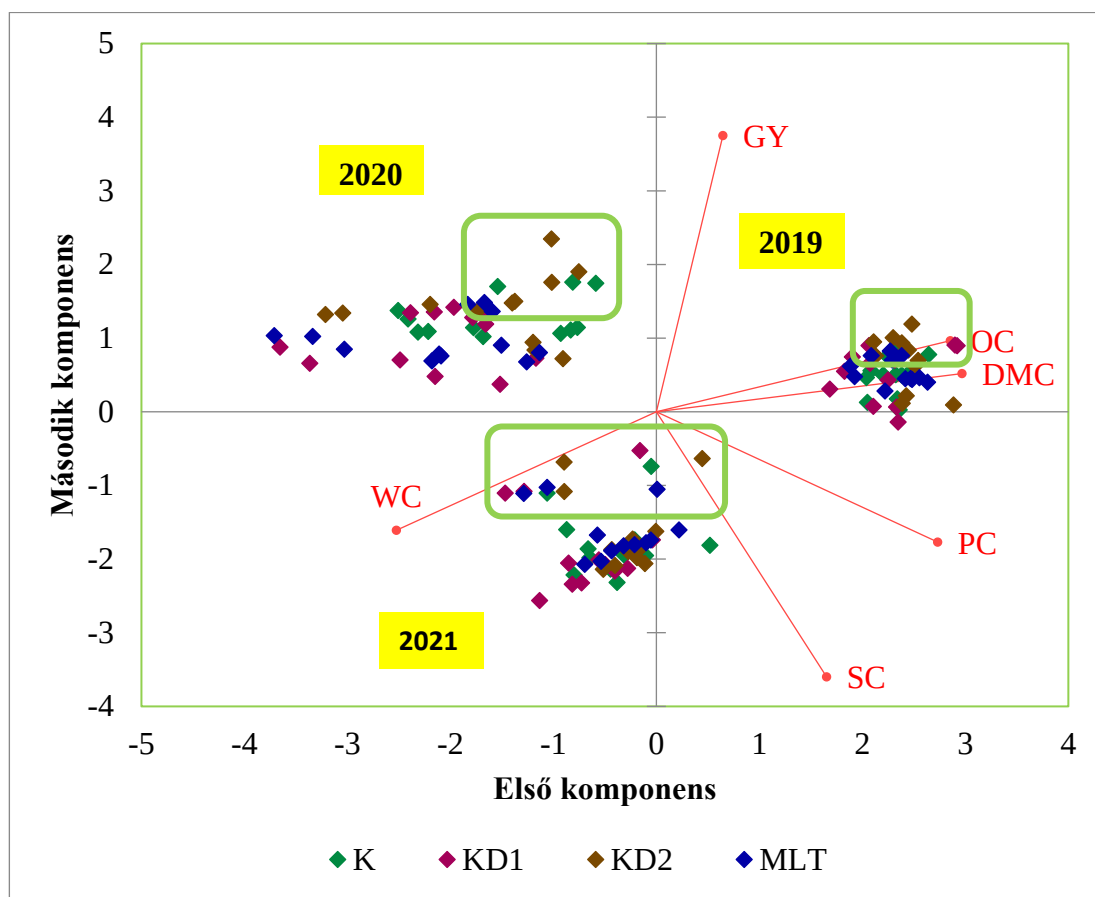
A főkomponens analízis eredménye a vizsgált tulajdonságok adatai alapján

W: vízigény, PH: növénymagasság, RFW: gyökér nedves tömeg, BFW: hajtás nedves tömeg, BDW: hajtás száraz tömeg, WUE: vízhasznosítási együttható, FW/DW: nedves tömeg/száraz tömeg aránya, DMC: szárazanyag-tartalom, R1: 50%-os nővirágzás, R3: teljes érés, O: optimális vízellátottság, S: vízmegvonás, BP: *Bacillus pumilus*, PF: *Pseudomonas fluorescens*, PP: *Pseudomonas putida*.

A hibridek alkalmazkodóképességének vizsgálata talajoltás hatására szántóföldi körülmények között

A főkomponens vizsgálatot a szemtermés mennyisége (GY), a betakarításkori szemnedvesség (WC), a szem szárazanyag-tartalma (DMC), szem fehérjetartalma (PC), szem olajtartalma (OC), szem keményítőtartalma (SC) adatai alapján végeztük. A kísérlet során vizsgált különböző oltóanyagokkal kezelt hibridek esetében 2019-ben,

2020-ban és 2021-ben a KD2 és MLT oltás hatására a GKT 3385-ös és GK Silostar hibridek magasabb termésátlagot produkáltak a K és a KD1 kezeléssel, valamint a GKT 3213-as és GKT 376-os hibriddel szemben. Az első két komponens az összes összefüggés 83,17%-át magyarázza, terméspotenciálnak tekinthetjük.



A főkomponens analízis eredménye a vizsgált tulajdonságok adatai alapján

K: kontroll, KD1: *Bacillus megaterium*+*Pseudomonas fluorescens*, KD2: *Bacillus pumilus*+*Pseudomonas Putida*, MLT: *Rhodopseudomonas palustris*+*Lactobacillus plantarum*+*Lactobacillus casei*+*Saccharomyces cerevisiae*, GY: szemtermés mennyisége (t/ha), WC: betakarításkori szemnedvesség (%), DMC: szem szárazanyagtartalma (%), PC: szem fehérjetartalma (%), OC: szem olajtartalma (%), SC: szem keményítőtartalma (%).

Új tudományos eredmények

1. A különböző PGPR (*Bacillus megaterium*, *Bacillus pumilus*, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas putida*) oltások hibridspecifikusan eltérő hatást váltottak ki a különböző éréscsoportú és azonos éréscsoporton belüli hibridek koleoptil és radikula hossz, valamint csírázási vigor index értékére.

2. A *Pseudomonas putida* oltás jelentős mértékben javította a GKT 3385 (korai FAO 390) szemes hibridkukorica és a GK Silostar (középérésű FAO 490) silóhibrid csírázókéességét és serkentette a csírák növekedését.
3. A *Bacillus megaterium* és *Pseudomonas fluorescens* oltás jelentős mértékben javította a GK Silostar (középérésű FAO 490) silóhibrid csírázókéességét és serkentette a csírák növekedését.
4. Először közöltünk adatokat a különböző PGPR (*Bacillus megaterium*, *Bacillus pumilus*, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas putida*) oltások optimális vízellátottság és tartós vízmegvonás alatt lévő kukoricanövény fiziológiai tulajdonságaira gyakorolt hatásáról, 50%-os nővirágzás és tejes érés fázisában.
5. Szárazságstressz során az 50%-os nővirágzás és tejes érés fázisában a *Pseudomonas putida* kezelés mérsékelten növelte a GKT 3385 (korai FAO 390) szemes hibridkukorica nedves gyökér tömegét. Az 50%-os nővirágzás fázisában javította a nedves tömeg/száraz tömeg arányát, és mindkét vizsgált fenofázisban jelentősen növelte a szárazanyag-tartalmat.
6. A 3 éves kísérleti eredményeink alapján *Bacillus pumilus*+*Pseudomonas putida* kombinált oltása évhatástól függetlenül hibridspecifikusan jelentős mértékben növelte a szemtermés mennyiségét szántóföldi körülmények között.
7. A 3 éves kísérleti eredményeink alapján a *Bacillus pumilus*+*Pseudomonas putida* kombinált oltása évhatástól függetlenül jelentős mértékben növelte a GKT 3385 (korai FAO 390) szemes hibridkukorica és a GK Silostar (középérésű FAO 490) silóhibrid szemtermés mennyiségét szántóföldi körülmények között.
8. A *Rhodopseudomonas palustris* + *Lactobacillus plantarum* + *Lactobacillus casei* + *Saccharomyces cerevisiae* kombinált oltása aszályos évben jelentős mértékben növelte a GK Silostar (középérésű FAO 490) silóhibrid szemtermés mennyiségét szántóföldi körülmények között.

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A PGPR-ok foszfát-mobilizáló képessége

A növények számára a nitrogén után a foszfor a legnagyobb mértékben limitáló tápanyag. Számos mikroorganizmus (baktériumok, gombák, algák) rendelkezik foszfát-mobilizáló képességgel. A talajban felhalmozódott foszfor hasznosítása érdekében a foszfát-mobilizáló baktériumok biotrágyaként funkcionálhatnak és fontos szerepet

játszhatnak a növények számára nehezen elérhető foszfor hozzáférhetőségének növelésében (Alori és mtsai. 2017). Tanulmányunkban a *Bacillus megaterium*, *Bacillus pumilus*, *Pseudomonas fluorescens* és *Pseudomonas putida* baktériumok foszfát feltáró képességét vizsgáltuk, és a kísérlet során szervesetlen foszforforrásként trikálcium-foszfátot használtunk.

A vizsgált PGPR kolóniák körül eltérő méretű feltisztulási zónákat figyeltünk meg az oltás utáni 7 napos inkubációt követően. Hasonló következtetésre jutott Nguyen és mtsai. (1992), Vazquez és mtsai. (2000), Khan és mtsai. (2022) kimutatva, hogy csak a foszfát-mobilizáló baktériumok képesek feltisztulási zónákat kialakítani trikálcium-foszfátot tartalmazó közegben. A feltisztulási zónák kialakulása a baktériumok által termelt szerves savak vagy foszfátáz enzimek aktivitásának az eredményei (Paul és Shina 2013). Song és mtsai. (2008) a *Burkholderia cepacia* foszfát feltáró hatékonyságát a magas szintű szerves savtermelésnek - nevezetesen glükonsav termelésnek - tulajdonították. A feltisztulási zónák változó átmérője szerint a trikálcium-foszfátot különböző mértékben mobilizálják a baktériumok, melyet Mei és mtsai. (2021) eredményei is megerősítenek. A zónák átmérői 7-18 mm között változtak, a baktériumok foszfát-mobilizáló index értékei pedig 14-52 között mozogtak. Hasonló eredményeket tapasztaltak Kumar és mtsai. (2010), Tariq és mtsai. (2022), valamint Amri és mtsai. (2023).

A kísérlet során mért foszfát-mobilizáló index értékek eredményei alapján a vizsgált PGPR-ok közül a *Pseudomonas putida* foszfát feltáró képessége mutatta a legnagyobb hatékonyságot. A folyékony tápközegbe oltott baktériumok foszfát-mobilizáló képességét, a 7. nap után mért oldott foszfát koncentráció értékei is alátámasztották, melyek 14-52 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ között változtak. A *Pseudomonas putida* oltásnál mértük a legmagasabb értékű foszfor koncentrációt, amely 51,636 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ -t jelentett. Pandey és mtsai. (2006) hasonló hatást tapasztaltak folyékony Pikovskaya táptalajon 28 °C-on 7 napos inkubáció után. Jelen vizsgálatunk eredményei alapján megállapítható: a kísérletben tesztelt baktériumok képesek oldani a trikálcium-foszfátot, és a *Pseudomonas putida* volt a leghatékonyabb foszfát feltáró a foszfát-mobilizáló index és az oldott foszfor koncentráció értékei alapján.

A PGPR-ok növényi növekedést serkentő hatása

A baktériumok növényi növekedést serkentő potenciáljának felmérése komplex megközelítést igényel, amely többek között a növény csírázókéességének vizsgálatát

is magába foglalja. Fontos nemesítési irányelv a kukorica genotípusok csírázóképeségének és kezdeti növekedésének fokozása, amelyek egyik fő szelekciós szempontja a csírázási vigor index. A PGPR törzsek növényi növekedést serkentő hatását számos tanulmány alátámasztotta (Lugtenberg és mtsai. 2002, El-Hawary és mtsai. 2002, Wu és mtsai. 2005, Fahad és mtsai. 2015, Saleem és mtsai. 2021). Korábbi vizsgálatok kimutatták, hogy a *Bacillus spp.* és *Pseudomonas spp.* felhasználhatók növényi növekedést serkentő baktériumként, ugyanis közös jellemzőjük a gyors szaporodás és az erős környezeti kompatibilitás (Gravel és mtsai. 2007, Rehman és mtsai. 2019).

Kísérletünkben *Bacillus megaterium*, *Bacillus pumilus*, *Pseudomonas fluorescens* és *Pseudomonas putida* baktérium izolátumok oltásával vizsgáltuk a lehetséges növényi növekedést serkentő hatást a GKT 3213, a GKT 376, a GKT 3385 és a GK Silostar kukorica csíranövényeken - a koleoptilok és a radikulák növekedésének, valamint a csírázási vigor index nyomon követésével. Eredményeink alapján megállapítottuk, hogy a kukorica genotípusa meghatározó tényező. A koleoptilok és a radikulák, illetve a csírázási vigor index adatai alapján a GKT 3385-ös hibrid esetében mértük a legmagasabb értékeket. A GKT 3385 korai érésű kukoricafajta, melynek csírázási eredményei magasabb értéket eredményeztek a szintén korai érésű GKT 376-nál, a szuperkorai GKT 3213-nál és a középérésű GK Silostarnál.

A PGPR-ok alkalmazása mérsékelten pozitív hatást váltott ki a koleoptilok hossza esetében, a *Bacillus pumilus* oltás hatására pedig alacsonyabb értéket mértünk a kontroll kezeléssel szemben. A radikulák hosszát vizsgálva a *Pseudomonas putida* oltásnál tapasztaltunk jelentős növényi növekedést serkentő hatást, és a kezelés mérsékelten növelte a növények csírázási vigor indexét. Nezarat és Gholami (2009), Noumavo és mtsai. (2013) is beszámoltak a kukorica magvak csírázóképeségének javulásáról a *Pseudomonas putida* oltás hatására. A genotípus és baktériumok interakciójának vizsgálata során eredményeink mutatják, hogy a különböző baktérium oltások eltérően hatottak a különböző éréscsoportú és azonos éréscsoporton belüli hibridek koleoptil és radikula hosszára, továbbá csírázási vigor indexére 4 napos inkubáció után. A szuperkorai GKT 3213-as hibrid koleoptil és radikula hosszának értékét a baktérium oltások nem növelték, inkább alacsonyabb értéket eredményeztek, így a hibrid csírázóképeségét sem javították. Ugyanezt a hatást tapasztaltuk a korai GKT 376-os hibrid esetében is. A GKT 3385-ös korai érésű hibrid koleoptil hosszának vizsgálata során a *Pseudomonas fluorescens* és a *Pseudomonas putida* oltási kezelés mutatott

jelentős növekedést serkentő hatást. A *Pseudomonas putida* továbbá növelte a radikulák hosszát is, javítva a hibrid csírázási vigor indexét. A GK Silostar középérésű kukorica vizsgálatai során a *Bacillus megaterium*, *Bacillus pumilus*, *Pseudomonas fluorescens* és *Pseudomonas putida* oltások jelentős mértékben serkentették a koleoptilok növekedését, illetve a *Pseudomonas putida* kezelés a radikulák növekedést serkentő hatását is eredményezte. A fent említett eredmények alapján elmondható, hogy a *Bacillus megaterium*, *Pseudomonas fluorescens* és *Pseudomonas putida* kezelés növelte a növények csírázási vigor indexét. Ez arra utal, hogy a vizsgált baktériumok rendelkeznek olyan növényi növekedést serkentő tulajdonságokkal, amelyek javítják a kukorica csírázókéességét, ami a kelés szempontjából meghatározó jelentőségű tulajdonság. Feltételezhetően ezek az eredmények a hidrolitikus enzimek aktivitásának köszönhetőek, amelyek intenzív szubsztrát asszimilációt biztosítanak (például a keményítő α -amilázai), és elősegítik a korai csírázást. A fokozott hormonbioszintézis kiválthatja ezen hidrolitikus enzimek aktivitását. Ezen túlmenően úgy tűnik, hogy a hormonfüggőség növeli a csírázási vigor indexet az indol-ecetsav szintézise miatt (Melani és mtsai. 2017). Hasonló eredményeket kapott kukorica növényen a *Bacillus megaterium* oltás hatására Kifle és Laing (2016), a *Pseudomonas fluorescens* és *Pseudomonas putida* kezelés esetében Agbodjato és mtsai. (2016), valamint *Pseudomonas putida* oltás után Georgieva és mtsai. (2023).

A baktériumok hibridspecifitását magyarázhatja, hogy a növény jelentős mértékben szabályozza a rizoszféra mikrobiomjának összetételét (Zhang és mtsai. 2017, Massalha és mtsai. 2017, Turner és mtsai. 2013). Egy növényfajon belül az egyszerű genotípus különbségeknek is jelentős hatásai lehetnek (Winston és mtsai. 2014). Smith és mtsai. (2017) szerint ennek a szabályozásnak egy része az organizmusok közötti szignálmolekulák működésének az eredménye. Kezdve a mag csírázásától, a gyökerek növekedésén keresztül, a gyökerek előregedéséig, szignálmolekulák szabadulnak fel a környező talajba. Ezek támogatják a mikrobiális növekedést és aktivitást a rizoszférában. A szignálmolekulák kiválasztása (időzítése, a mennyiségének és/vagy minőségének változása) egy olyan mechanizmus, amellyel a növények irányíthatják a gyökerekkel társított mikrobióta mennyiségét és összetételét (Bakker és mtsai. 2012). Feltételezhetően a váladékok főként cukrokból, aminosavakból és szerves savakból állnak, amelyek nagy koncentrációban vannak jelen a növény citoplazmájában. Kisebbségben tartalmaznak összetett másodlagos metabolitokat is - például flavonoidokat,

terpéneket és fenolos vegyületeket -, amelyek specifikusan magukhoz vonzák a mikrobákat (Musilova és mtsai. 2016). Az is felvetődött, hogy a jázmonsav és a szalicilsav szignálmolekulák rizoszférába történő exudációja részt vehet a gyökerek és a mikrobák közötti kölcsönhatásban (Doornbos és mtsai. 2011). A gyökérváladék kibocsátása genetikailag szabályozott folyamat, így a különböző növényi genotípusok különálló rizobaktérium közösségeket alakíthatnak ki. Ez rendkívüli variabilitást eredményez a növényfajok között, ugyanazon a fajon belül az egyes növénytípusok között, a különböző fejlődési szakaszokban, eltérő körülmények között és különböző biotikus kölcsönhatásokban (Gransee és Wittenmayer 2000, Micallef és mtsai. 2009, Badri és mtsai. 2013, Kristin és Miranda 2013).

Szárazságstressz faktor elleni tolerancia fokozása

A nemesítés egyik legfontosabb feladata a szárazságstresszt jól toleráló genotípusok szelekciója. A növények szárazságstresszre adott reakciója összetett folyamat, és nemcsak a stressz intenzitásától és időtartamától, hanem a növény fejlődési szakaszától is függ (Çakir 2004, Singh és mtsai. 2008, Farooq és mtsai. 2009, Liu és mtsai. 2010). A kukorica C4-es növényként magas víz- és tápanyagigényű a gyors növény-növekedés érdekében. A szárazságstressz a kukorica szinte minden fejlődési szakaszát érinti. Azonban az olyan fenofázisok, mint a csírázás és a virágzás, a növénytermesztés fő periódusai. Ilyenkor a növények érzékenyebbek a szárazság okozta stresszre (Delachave és Pinho 2003, Ashagre és mtsai. 2014, Khayatnezhad és mtsai. 2010, Aslam és mtsai. 2015).

A PGPR fontos szerepet játszhat a gazdanövényt ért abiotikus stressz enyhítésében, közreműködhet a stresszhatások mérséklésében (Ahluwalia és mtsai. 2021). A PGPR-ok alkalmazása által kiváltott stressz csökkentő mechanizmusok rendkívül összetettek. A növény - mikroba kölcsönhatás során fellépő jelátvitel komplex hálózata szabályozza ezeket a mechanizmusokat és a stressz mérséklését (Smith és mtsai. 2017). A PGPR-ok antioxidánsokat termelnek, javítják a gyökér és a hajtás morfológiáját, biofilmeket állítanak elő a növény vízellátásának javítása céljából, valamint másodlagos metabolitokat termelnek a növény alkalmazkodóképességének erősítése érdekében (Ahluwalia és mtsai. 2021, Ruzzi és mtsai. 2015, Kumar és mtsai. 2019, Li és mtsai. 2020). Számos tanulmány született a mikroorganizmusok által közvetített szárazságtűrésről a csírázás szakaszában (Grover és mtsai. 2013, Sandhya és mtsai. 2009), és korábbi eredményeik azt mutatták, hogy a kukorica oltása *Pseudomonas*

putida FBKV2 törzssel serkenti a növények növekedését és növeli a szárazsággal szembeni ellenállóságát.

Jelen vizsgálatunkban a *Bacillus megaterium*, *Bacillus pumilus*, *Pseudomonas fluorescens* és *Pseudomonas putida* baktériummal oltottuk a GKT 3385-ös hibridet optimális vízellátás és szárazságstresszelt körülmények között, majd a kukorica fenológiai paramétereit értékeltük 50%-os nővirágzás és tejes érés fázisában. Sandhya és mtsai. (2010) tapasztalataihoz hasonlóan, a szárazságstressz hatással volt a kukorica fejlődésére. Jelen kísérletünk eredményei azt mutatták, hogy a szárazságstressz jelentősen visszavetette a kukorica fejlődését, ami a növény magasságának, a gyökér nedves tömegének, a hajtás nedves tömegének és szárazanyag-tartalmának csökkenését eredményezte az optimális vízellátottságban részesülő növényekkel szemben. Ugyanezt a hatást tapasztalta Pandey és mtsai. (2000), Suralta és mtsai. (2010), Hugh és Richard (2003), Pervez és mtsai. (2004), Çakir (2004), bizonyítva, hogy a szárazságstressz fokozásával a növények fokozatosan csökkentették a növénymagasságot és a hajtás szárazanyag-tartalmát. Jelen vizsgálatunkban 50%-os nővirágzásban, optimális vízellátottság során a *Pseudomonas putida* kezelés jelentős mértékben növelte a növénymagasságot, mely hatást a tejes érés fázisában már nem tapasztaltuk. Az 50%-os nővirágzás idején, a szárazságstressz során a *Pseudomonas putida* oltás mérsékelten növelte a gyökerek nedves tömegét, ami a tejes érés fázisában is megfigyelhető volt. Optimális vízellátottság során a tejes érés szakaszában a *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas putida* és *Bacillus pumilus* kezelés hatására tapasztaltunk jelentősen nagyobb gyökér nedves tömeget a növényeknél. A kukoricák vízhasznosítási együtthatójának mértékét optimális vízellátottság során a *Pseudomonas fluorescens* oltás az 50%-os nővirágzás fázisában jelentősen növelte. A *Bacillus megaterium* kezelés esetében vízmegvonás során mérsékelt növekedést tapasztaltunk. A növények nedves tömeg/száraz tömeg arányát optimális vízellátottság mellett a *Pseudomonas fluorescens*, szárazságstressz során pedig a *Pseudomonas putida* oltás javította jelentős mértékben az 50%-os nővirágzás idején. A *Pseudomonas fluorescens* kezelés jelentős mértékben növelte a növények szárazanyag-tartalmát optimális vízellátottság során az 50%-os nővirágzás fázisában. Ugyanezt tapasztaltuk a *Pseudomonas putida* kezelés esetében is szárazságstresszelt körülmények között, mely hatás a tejes érés szakaszában is mérsékelten megjelent. Eredményeinket megerősíti Ahmad és mtsai. (2019), Mubeen és mtsai. (2021) tanulmánya, akik hasonló hatást tapasztaltak a *Pseudomonas fluorescens* és *Pseudomonas putida* kezelés esetében a kukorica növénymagasság, a hajtás nedves

és száraz tömeg, a gyökér nedves és száraz tömeg, a szárazanyag-tartalom vizsgálata során (optimális és szárazságstresszelt környezetben). Eredményeink alapján megállapíthatjuk: a *Pseudomonas putida* kezelés növelte a GKT 3385-ös hibrid nedves és száraz tömegét és a szárazanyag-tartalmát szárazságstresszelt körülmények között.

A hibridek alkalmazkodóképességének változása talajoltás hatására szántóföldi körülmények között

A termés hozam növelése és minőségének megőrzése a növénytermesztési és nemesítési kutatások egyik legfontosabb célja (Kayad és mtsai. 2021). A genetikai terméspotenciál hibridenként nagymértékben változik, ami a genotípus és a környezet kölcsönhatásával párosul, így a hozam és a minőség kapcsolata összetett és változó. A kukorica termése a szemsorok számából, a csövön lévő szemek számából és a szemek tömegéből tevődik össze. A termés hozamot a különböző meteorológiai tényezők jelentős mértékben befolyásolják (Yang és mtsai. 2022). Jelen tanulmányunkban - a termés mennyiségét és beltartalmi értékét meghatározó tulajdonságok eredményei alapján - megállapítható, hogy a vizsgált hibridek érésidőben és alkalmazkodóképességben is eltérnek egymástól.

A környezeti változások (például: éghajlat, talaj, vízellátottság, napfény) és a biotikus stressz jelentős hatással lehetnek a növények fejlődésére és termőképességére. Adott genotípusú növény kedvező környezetben jól teljesíthet, kedvezőtlen környezetben viszont gyengébb teljesítményt mutat. Ezért a növények környezethez való alkalmazkodása kritikus tényező, amelyet figyelembe kell venni a nemesítés és a növényfajták kiválasztása során. A genotípus és a környezet között szinergikus vagy antagónista hatások lehetnek (előbbi erősíti, utóbbi csökkenti a növény teljesítményét). Sárvári és Pepo (2014) szerint a kukoricatermesztés intenzitása határozza meg az agrárökoszisztéma ellenálló képességét, valamint a kedvezőtlen időjárási viszonyokra adott válaszát. Kimutatható, hogy az éghajlatváltozás okozta szélsőséges időjárási viszonyok nagy hatással vannak a kukorica hozamára (Brown és Rosenberg 1999). A hároméves szántóföldi kísérletek eredményei alapján elmondható, hogy a kukorica termésmennyiségére az évjárat volt a legnagyobb hatással. 2019 és 2020 a kukoricatermesztés szempontjából intenzív évnak tekinthető, amely a vizsgált hibridek esetében közel 10 t/ha termésátlagot jelentett. 2021 ezzel szemben rendkívül kedvezőtlen év volt - a csapadékhiány, a magas átlaghőmérséklet és a címerhányáskori légköri aszály miatt - 38%-os terméseszkökenést (6,5 t/ha) okozott a vizsgált hibridek termésátlagában. A szemek száma részben függ a virágzás és a megtermékenyülés ütemétől. A

virágzási és a termékenyülési folyamatok nagyon érzékenyek a környezetváltozásra, és ha ezt az időszakot vízhiány vagy kedvezőtlen éghajlati viszonyok (pl.: túlzott csapadék, nem megfelelő páratartalom, alacsony hőmérséklet, tápanyaghiány) jellemzik, akkor a termésérés csökken, ami a szemek hiányát okozza. A szem tömege tükrözi a kukorica külső fejlődési és belső fiziológiai állapotát, melyek megfelelő működése feltétele annak, hogy a növények magas terméshozamot érjenek el (Wu és mtsai. 2022). Hosszú távú kísérletek eredményei bizonyították, hogy a különböző terménymodellek egyensúlyát és ebből következően a termelékenységét nagymértékben befolyásolták a környezeti, elsősorban időjárási tényezők (Sárvári et al. 2014).

Számos tanulmány beszámolt arról, hogy a PGPR oltás eltérő mértékben növelheti a terméshozamot, javíthatja a talaj tápanyagellátottságát, valamint növelheti a talajban lévő tápanyagok felszívódását és hasznosulását (Cassán és mtsai. 2009, Díaz-Zorita és Fernández-Canigia 2009, Singh és mtsai. 2011). A kukorica rizoszférából izolált különböző *Azospirillum brasilense* törzsekkel történt oltás 5–11%-kal növelte a kukorica szemtermését. (Salvo és mtsai. 2018, Skonieski és mtsai. 2019). Aquino és mtsai. (2019) 40 PGPR izolátumot használtak fel a kukorica és a cirok növekedésére gyakorolt hatás felmérésére. Az izolátumok között szerepelt a *Bacillus pumilus* és a *Bacillus megaterium*, melyek hatására főként a növénymagasság, a hajtás száraz tömeg és a klorofilltartalom mutatott növekedést. Katsenios és mtsai. (2022) eredményei alapján a *Bacillus subtilis*, a *Bacillus pumilus*, a *Bacillus pseudomyoides* növelte a csemegekukorica szemtermésének mennyiségét. A PGPR talajoltás pozitív hatást mutatott a kukorica hozamára (Ferreira és mtsai. 2013, Noumavo és mtsai. 2013, Abokora 2016). Munkánk során a hároméves termésátlagokat tekintve a legmagasabb szemtermés mennyiséget a KD2 oltási kezelés esetében mértük (9,3 t/ha). Ezt követte a MLT kezelés 8,9 t/ha-ral, majd a K 8,8 t/ha és végül a KD1 kezelés 8,6 t/ha-ral. A KD2 oltás hatása 5,7%-os, az MLT kezelés hatása pedig 1,1%-os termésnövekedést eredményezett az oltatlan K növényekhez képest. A KD1 kezelésnél 2,3%-os termés-kiesést mértünk. Iqbal és mtsai. (2016) a PGPR-ral kezelt kukorica szemtermés mennyiségének növekedéséről számolt be. Ullah és Bano (2019) szerint a hozam magasabb volt a *Pseudomonas putida* és a *Bacillus pumilus*-al kezelt növényekben. Singh és mtsai. (2023) szerint a kukorica fejlődésére, növekedésére és a termés potenciál javítására különösen az *Azospirillum lipoferum* és a *Pseudomonas putida* van kedvező hatással.

Jelen tanulmányunkban a hároméves szántóföldi kísérlet eredményei alapján azt tapasztaltuk, hogy a *Bacillus pumilus* + *Pseudomonas putida* kombinált törzskeverék talajoltás hatására a növények képesek az aszályos évjárat ellenére többlettermést realizálni, ami mind növénytermesztési, mind nemesítési, mind gazdasági szempontból kiemelten fontos. Az összefüggések pontosabb megértéséhez nélkülözhetetlen a fenológiai tulajdonságokat kifejező genetikai háttér feltárása, melyek eredményei tovább mélyítik és segítik a szelekciós folyamatokat. A lehetséges biostimulátorok alapját képező mikrobák hatékonyságát szántóföldi körülmények között több termőhelyes teljesítménykísérletek keretein belül, széles genotípus portfólión kell vizsgálni és értékelni, hogy a kapott eredmények alapján ténylegesen a fenntartható mezőgazdaság és a precíziós gazdálkodás hatékony és környezetkímélő technológiája legyen.

IRODALOMJEGYZÉK

- Abo-kora HA, (2016) Endophytic colonization of maize (*Zea mays* v.) root plants by PGPRs under salinity stress. *Nat. Sci.*, 14(7): 34-51
- Agbodjato NA, Noumavo PA, Adjanohoun A, Agbessi L, Baba-Moussa L, (2016) Synergistic effects of plant growth promoting rhizobacteria and chitosan on in vitro seeds germination, greenhouse growth, and nutrient uptake of maize (*Zea mays* L.). *Biotechnology research international*.
- Ahluwalia O, Singh PC, Bhatia R, (2021) A review on drought stress in plants: Implications, mitigation and the role of plant growth promoting rhizobacteria. *Resources, Environment and Sustainability*, 5, 100032.
- Alori ET, Glick BR, Babalola OO, (2017) Microbial Phosphorus Solubilization and Its Potential for Use in Sustainable Agriculture. *Front. Microbiol.* 8:971. doi: 10.3389/fmicb.2017.00971
- Amri M, Rjeibi MR, Gatrouni M, Mateus DMR, Asses N, Pinho HJO, Abbes C. Isolation, Identification, and Characterization of Phosphate-Solubilizing Bacteria from Tunisian Soils. *Microorganisms*. 2023; 11(3):783. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11030783>
- Ashagre H, Ibrahim A, Hamza, Urgecha F, Worku N, (2014) Influence of boron on seed germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). *African Journal of Plant Science*. 8(2) pp. 133-139
- Aslam M, Maqbool MA, Cengiz R, (2015) *Drought Stress in Maize*. Springer US. pp. 19-36
- Aquino JPA, (2019) Plant growth-promoting endophytic bacteria on maize and sorghum1. *Pesqui. Agropecu. Trop.* 49
- Badri DV, and Vivanco JM, (2009) Regulation and function of root exudates. *Plant Cell Environ.* 32, 666–681. doi: 10.1111/j.1365-3040.2008.01926.x

- Bakker MG, Manter DK, Sheflin AM, Weir TL, Vivanco JM, (2012) Harnessing the rhizosphere microbiome through plant breeding and agricultural management. *Plant Soil* 360, 1–13. doi: 10.1146/annurev.arplant.57.032905.105159
- Brown RA, Rosenberg NJ, (1999) Climate change impacts on the potential productivity of corn and winter wheat in their primary United States growing regions. *Climate Change* 41:73–107
- Çakir R, (2004) Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crop Res.* 89:1–16
- Cassán F, Perrig D, Sgroy V, Masciarelli O, Penna C, Luna V, (2009) Corrigendum to “*Azospirillum brasilense* Az39 and *Bradyrhizobium japonicum* E109, inoculated singly or in combination, promote seed germination and early seedling growth in corn (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* L.) [Eur. J. Soil Biol. 45 (2009) 28–35]”. *Eur J Soil Biol* 45: 28–35.
- Delachiave M, Pinho S, (2003) Germination of *Senna occidentalis* seed at different osmotic potential levels. *Architectural Technologies.* 46:1663–166
- Díaz-Zorita M, Fernández-Canigia MV, (2009) Field performance of a liquid formulation of *Azospirillum brasilense* on dryland wheat productivity. *Eur J Soil Biol* 45: 3–11.
- Doornbos RF, Geraats BP, Kuramae EE, Van Loon LC, Bakker PA, (2011) Effects of jasmonic acid, ethylene, and salicylic acid signaling on the rhizosphere bacterial community of *Arabidopsis thaliana*. *Mol. Plant Microbe Interact.* 24, 395–407. doi: 10.1094/MPMI-05-10-0115
- El-Hawary MI, El-Hawary Fatma I, El-Ghamry AM, El-Naggar E, (2002) Effect of application of biofertilizer on the yield and NPK uptake of some wheat genotypes as affected by the biological properties of soil. *Pak. J. Biol. Sci.*, 5: 1181–1185
- Fahad S, Hussain S, Bano A, Saud S, Hassan S, Shan D, Huang J, (2015) Potential role of phytohormones and plant growth-promoting rhizobacteria in abiotic stresses: consequences for changing environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 4907–4921.
- Farooq M, Wahid A, Kobayashi N, Fujita D, Basra SMA (2009) Plant drought stress: effects, mechanisms and management. In: Lichtfouse E, Navarrete M, Debaeke P, Souchere V, Alberola C (eds) *Sustainable agriculture*. Springer, pp 153–188
- Georgieva G, Nedeva T, Badalova M, Deleva V, Savov V (2023) Study of the plant growth-promoting capacity of *Pseudomonas putida* 1046 in a model plant system. In: Chankova S, Danova K, Beltcheva M, Radeva G, Petrova V, Vassilev K (Eds) *Actual problems of Ecology*. *BioRisk* 20: 115–128. <https://doi.org/10.3897/biorisk.20.97581>
- Ferreira A, Pires RP, Rabelo R, Oliveira J, Brito C, (2013) Implications of *Azospirillum brasilense* inoculation and nutrient addition on maize in soils of the Brazilian Cerrado under green house and field conditions. *Appl. Soil Ecol.*, 72: 103–108

- Gransee A, Wittenmayer L, (2000) Qualitative and quantitative analysis of water-soluble root exudates in relation to plant species and development. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 163, 381–385. doi: 10.1002/1522-2624(200008)163:4<381:AID-JPLN381>3.0.CO;2-7
- Gravel V, Antoun H, Tweddell RJ, (2007) Growth stimulation and fruit yield improvement of greenhouse tomato plants by inoculation with *Pseudomonas putida* or *Trichoderma atroviride*: Possible role of Indole Acetic Acid (IAA). *Soil Biol. Biochem.*, 39: 1968-1977
- Grover A, Mittal D, Negi M, Lavania D, (2013) Generating high temperature tolerant transgenic plants: Achievements and challenges. *Plant Sci.* 205-206:38-47
- Hugh JE, Richard FD (2003) Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. *Agron J* 95:688–696
- Iqbal MA, Khalid M, Zahir ZA, Ahmad R, (2016) Auxin producing plant growth promoting rhizobacteria improve growth, physiology and yield of maize under saline field conditions. *Int. J. Agri. Biol.*, 18(1): 37-45
- Katsenios N, Andreou V, Sparangis P, (2022) Assessment of plant growth promoting bacteria strains on growth, yield and quality of sweet corn. *Sci Rep* 12, 11598 <https://doi.org/10.1038/s41598-022-16044-2>
- Kayad A, Sozzi M, Gatto S, Whelan B, Sartori L, Marinello F, (2021) Ten years of corn yield dynamics at field scale under digital agriculture solutions: A case study from North Italy. *Computers and Electronics in Agriculture*, 185, 106126.
- Khan H, Akbar WA, Shah Z, Rahim HU, Taj A, Alatalo JM, (2022) Coupling phosphate-solubilizing bacteria (PSB) with inorganic phosphorus fertilizer improves mungbean (*Vigna radiata*) phosphorus acquisition, nitrogen fixation, and yield in alkaline-calcareous soil. *Heliyon*, 8(3).
- Khayatnezhad M, Zaeifizadeh M, Gholamin R, (2010): Investigation and Selection Index for Drought Stress. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(10): 4815-4822
- Kifle MH and Laing MD (2016) Effects of Selected Diazotrophs on Maize Growth. *Front. Plant Sci.* 7:1429. doi: 10.3389/fpls.2016.01429
- Kristin A, Miranda H, (2013) The root microbiota—a fingerprint in the soil? *Plant Soil* 370, 671–686. doi: 10.1007/s11104-013-1647-7
- Kumar A, Bhargava P, Rai, LC (2010) Isolation and molecular characterization of phosphate solubilizing *Enterobacter* and *Exiguobacterium* species from paddy fields of Eastern Uttar Pradesh, India. *African Journal of Microbiology Research*, 4(9), 820-829.
- Kumar A, Patel JS, Meena VS, Srivastava R, (2019) Recent advances of PGPR based approaches for stress tolerance in plants for sustainable agriculture. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, 20, 101271.

- Li H, Guo Q, Jing Y, Liu Z, Zheng Z, Sun Y, Xue Q, Lai H (2020) Application of *Streptomyces pactum* Act12 enhances drought resistance in wheat. *J Plant Growth Regul* 39:122–132. <https://doi.org/10.1007/s00344-019-09968-z>
- Liu Y, Li S, Chen F, Yang S, Chen X, (2010) Soil water dynamics and water use efficiency in spring maize (*Zea mays* L.) fields subjected to different water management practices on the Loess Plateau, China. *Agric Water Manage*. 97:769–775
- Lugtenberg BJJ, Chin-A-Woeng TFC, Bloemberg GV, (2002) Microbe-plant interactions: Principles and mechanisms. *Antonie van Leeuwenhoek*, 81: 373-383
- Massalha H, Korenblum E, Tholl D, Aharoni A, (2017) Small molecules below-ground: the role of specialized metabolites in the rhizosphere. *Plant J*. 90, 788–807. doi: 10.1111/tpj.13543
- Mei C, Chretien RL, Amaradasa BS, He Y, Turner A, Lowman S. Characterization of Phosphate Solubilizing Bacterial Endophytes and Plant Growth Promotion In Vitro and in Greenhouse. *Microorganisms*. 2021; 9(9):1935. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9091935>
- Meliani A, Bensoltane A, Benidire L, Oufdou K, (2017) Plant growth-promotion and IAA secretion with *Pseudomonas fluorescens* and *Pseudomonas putida*. *Research & Reviews: Journal of Botanical Sciences*, 6(2), 16-24.
- Micallef SA, Channer S, Shiaris MP, Colon-Carmona A, (2009) Plant age and genotype impact the progression of bacterial community succession in the *Arabidopsis* rhizosphere. *Plant Signal. Behav.* 4, 777–780. doi: 10.1093/jxb/erp053
- Murphy J, and Riley JP, (1962) A Modified Single Solution Method for the Determination of Phosphate in Natural Waters. *Analytica Chimica Acta*, 27, 31-36. [http://dx.doi.org/10.1016/S0003-2670\(00\)88444-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0003-2670(00)88444-5)
- Musilova L, Ridl J, Polivkova M, Macek T, Uhlik O, (2016) Effects of secondary plant metabolites on microbial populations: changes in community structure and metabolic activity in contaminated environments. *Int. J. Mol. Sci.* 17:1205. doi: 10.3390/ijms17081205
- Nezarat S, Gholami A, (2009) Screening Plant Growth Promoting Rhizobacteria for Improving Seed Germination, Seedling Growth and Yield of Maize. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 12, 26-32
- Nguyen C, Yan W, Le Tacon F, Lapeyrie F, (1992). Genetic variability of phosphate solubilizing activity by monocaryotic and dicaryotic mycelia of the ectomycorrhizal fungus *Laccaria bicolor* (Maire) P.D. Orton. *Plant Soil* 143: 193-199
- Noumavo PA, Kochoni E, Didagbé YO, Adjanooun A, Allagbé M, Sikirou R, Gachomo EW, Kotchoni SO, Baba-Moussa L, (2013) Effect of Different Plant Growth Promoting Rhizobacteria on Maize Seed Germination and Seedling Development. *American Journal of Plant Sciences*.4: 1013-1021
- Pandey RK, Maranville JW, Chetima MM (2000) Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment II. Shoot growth, nitrogen uptake and water extraction. *Agric Water Manage* 46:15–27

- Paul D, Sinha SN, (2013) Phosphate solubilization potential and phosphatase activity of some bacterial strains isolated from thermal power plant effluent exposed water of river Ganga. *CIBTech J Microbiol*, 2(3), 1-7.
- Pervez HZ, Srinivasan G, Cordova HS, Sanchez C (2004) Gains from improvement for mid-season drought tolerance in tropical maize (*Zea mays* L.). *Field Crop Res* 89:135–152
- Rehman, A., Ullah, A., Nadeem, F., Farooq, M. (2019). Sustainable Nutrient Management. In: Farooq, M., Pisante, M. (eds) *Innovations in Sustainable Agriculture*. Springer, Cham.
- Ruzzi M, Aroca R, (2015) Plant growth-promoting rhizobacteria act as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 124-134.
- Saleem S, Iqbal A, Ahmed F, Ahmad M, (2021) Phytobeneficial and salt stress mitigating efficacy of IAA producing salt tolerant strains in *Gossypium hirsutum*. *Saudi journal of biological sciences*, 28(9), 5317-5324.
- Salvo LPD, Cellucci GC, Carlino ME, Salamone IEG, (2018) Plant growth-promoting rhizobacteria inoculation and nitrogen fertilization increase maize (*Zea mays* L.) grain yield and modified rhizosphere microbial communities. *Appl Soil Ecol* 126: 113–120.
- Sandhya V, Ali SKZ, Grover M, Reddy G, Venkateswarlu B, (2009) Alleviation of drought stress effects in sunflower seedlings by the exopolysaccharides producing *Pseudomonas putida* strain GAP-P45. *Biology and Fertility of Soils*. 46: 17–26
- Sandhya, V, Ali, SK. Z., Grover, M., Reddy, G. – Venkateswarlu, B. (2010): Effect of plant growth promoting *Pseudomonas* spp. on compatible solutes, antioxidant status and plant growth of maize under drought stress. *Plant Growth Regulation* volume 62: 21–30
- Sárvári M, Pepó P, (2014) Effect of Production Factors on Maize Yield and Yield Stability. *Cereal Research Communications* 42(4): 710–720
- Singh S, Singh G, Singh P, Singh N, (2008) Effect of water stress at different stages of grain development on the characteristics of starch and protein of different wheat varieties. *Food Chem*. 108:130–139
- Singh JS, Pandey VC, Singh DP, (2011) Efficient soil microorganisms: a new dimension for sustainable agriculture and environmental development. *Agric Ecosyst Environ* 140: 339–353.
- Singh H, Singh Z, Kashyap R, Yadav SR, (2023) Lateral root branching: evolutionary innovations and mechanistic divergence in land plants. *New Phytologist*, 238(4), 1379-1385.
- Skonieski FR, Viégas J, Martin TN, Mingotti CCA, Naetzold S, Tonin TJ, (2019) Effect of nitrogen topdressing fertilization and inoculation of seeds with *Azospirillum brasilense* on corn yield and agronomic characteristics. *Agronomy* 9: 812.
- Smith DL, Gravel V, Yergeau E, (2017) Editorial: signaling in the phytomicrobiome. *Front. Plant Sci*. 8:611. doi: 10.3389/fpls.2017.00611

- Song OR, Lee SJ, Lee YS, Lee SC, Kim KK, Choi YL, (2008) Solubilization of insoluble inorganic phosphate by *Burkholderia cepacia* DA23 isolated from cultivated soil. *Brazilian Journal of Microbiology*, 39, 151-156.
- Suralta RR, Inukai Y, Yamauchi A, (2010) Dry matter production in relation to root plastic development, oxygen transport, and water uptake under transient soil moisture stresses. *Plant Soil* 332: 87–104
- Tariq MR, Shaheen F, Mustafa S, ALI S, Fatima A, Shafiq M, Safdar W, Sheas MN, Hameed A, Nasir MA. 2022. Phosphate solubilizing microorganisms isolated from medicinal plants improve growth of mint. *PeerJ* 10:e13782 <https://doi.org/10.7717/peerj.13782>
- Turner TR, James EK, Poole PS, (2013) The plant microbiome. *Genome Biol.* 14:209. doi: 10.1186/gb-2013-14-6-209
- Ullah A, Akbar A, Luo Q, Khan AH, Manghwar H, Shaban M, Yang X, (2019) Microbiome diversity in cotton rhizosphere under normal and drought conditions. *Microb. Ecol.* 77, 429–439
- Vazquez P, Holguin G, Puente ME, (2000) Phosphate-solubilizing microorganisms associated with the rhizosphere of mangroves in a semiarid coastal lagoon. *Biol Fert Soils* 30(5–6):460–468
- Winston ME, Hampton-Marcell J, Zarraonaindia I, Owens SM, Moreau CS, Gilbert JA, (2014) Understanding cultivar-specificity and soil determinants of the cannabis microbiome. *PLoS One* 9:e99641. doi: 10.1371/journal.pone.0099641
- Wu SC, Cao ZH, Li ZG, Cheung KC, Wong MH, (2005) Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: A greenhouse trial. *Geoderma*, 125: 155-166
- WU YW, Bo ZHAO, LI XL, LIU QL, FENG DJ, LAN TQ, YUAN JC, (2022) Nitrogen application affects maize grain filling by regulating grain water relations. *Journal of Integrative Agriculture*, 21(4), 977-994.
- Yang B, Wu S, Yan Z, (2022) Effects of Climate Change on Corn Yields: Spatiotemporal Evidence from Geographically and Temporally Weighted Regression Model. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(8), 433.
- Zhang R, Vivanco JM, and Shen Q, (2017) The unseen rhizosphere root-soil-microbe interactions for crop production. *Curr. Opin. Microbiol.* 37, 8–14. doi: 10.1016/j.mib.2017.03.008

PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE

Idegen nyelvű lektorált tudományos közlemények a dolgozat témakörében

Kálmán CD, Kálmán L, Szél S, Mórocz Salamon K, Nagy Z, Kiss E, Posta K, (2023) Assessment of the influence of soil inoculation on changes in the adaptability of maize hybrids. Cereal Research Communications, 1-17.

Kálmán CD, Nagy Z, Berényi A, Kiss E, Posta K, (2023) Investigating PGPR bacteria for their competence to protect hybrid maize from the factor drought stress. Cereal Research Communications, 1-22.

Magyar nyelvű lektorált tudományos közlemények a dolgozat témakörében

Kálmán CD, Kálmán L, Latos Cs, Pauk J, Bóna L, Nagy Z, (2021) Kukoricahibridek fiatalkori szárazságstresszre és talajtípusra adott reakciói üvegházban. Növénytermelés, 71. 2.

Magyar nyelvű ismeretterjesztő közlemények a dolgozat témakörében

Kálmán CD, Nagy Z, (2021) A kukorica vízhasznosítása, aszálytűrése. Agroforum, 92. 26 p.

Konferencia kiadványok

Kálmán CD, Kálmán L, Móroczné S K, Nagy É, Nagy Z, Szél S (2018) Kukorica agrotechnikai kísérletek eredményei az elmúlt három évben. XXIV. Növénytermelési Tudományos Nap, Összefoglalók.

Kálmán CD, Szentgyörgyi A, Kiss E, (2018) Examination of the phosphate solubilizing ability of PGPR bacteria. Journal of Food Processing & Technology, Volume 9. 73 p., 55. p

Kálmán CD, Szentgyörgyi A, Kiss E, (2019) PGPR baktériumok foszfát-szolubilizáló képességének vizsgálata. XXV. Növénytermelési Tudományos Nap, Összefoglalók.

Nagy Z, **Kálmán CD**, Lantos Cs, Palágyi A, Palágyi A, Pauk J, Purgel Sz, Purgis T, Szakál M, Bóna L, (2019) Egyszerű digitális képanalízis alkalmazása kukorica növények szárazságtűrésének vizsgálatában. XXV. Növénytermelési Tudományos Nap, Összefoglalók.