

Szent István Egyetem
Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar,
Környezettudományi Intézet
Talajtani és Agrokémiai Tanszék

PIROLÍZIS SZILÁRD VÉGTERMÉK ÉS BIOGÁZÜZEMI ERJESZTÉSI MARADÉK
HATÁSA A NÖVÉNYEKRE TENYÉSZEDÉNYES MODELLKÍSÉRLETBEN

Készítette: Varga Zsolt István
Évfolyam: Környezetmérnök Msc II.évfolyam

Belső konzulens: Dr Fülekgy György
Beosztása: Egyetemi tanár

Belső konzulens: Gulyás Miklós
Beosztása: Phd Hallgató

Gödöllő
2013

Tartalomjegyzék:

TARTALOMJEGYZÉK:	2
1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK	3
CÉLKITŰZÉSEK:	4
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	5
2.1 BIOSZÉN	5
2.1.1 A bioszén definíciója	5
2.1.2 Bioszén alapanyagai	5
2.1.3 Alapanyagok hatása a bioszén tápanyagtartalmára	6
2.1.4 Bioszén talajra gyakorolt hatása	6
2.1.5 A bioszén előállítása	7
2.1.6 Bioszén használata külföldön	9
2.2 BIOGÁZ	10
2.3 TRÁGYÁZÁS ÉS A BIOGÁZÜZEMI FERMENTLÉ	10
2.3.1 Az üzemi fermentlé tulajdonságai	12
2.3.2 A fermentlé használata Magyarországon	13
2.3.3 A fermentlé használata külföldön	14
2.4 FAHAMU ÉS FERMENTLÉ EGYÜTTES HASZNÁLATA	16
3. ANYAG ÉS MÓDSZER	17
3.1 A TENYÉSZEDÉNYES MODELLKÍSÉRLETBEN FELHASZNÁLT TALAJOK	17
3.2 A TENYÉSZEDÉNYES MODELLKÍSÉRLET	17
3.3 A KÉMIAI MÉRÉSEK	18
3.3.1. Növényminták sósavas hidrolízise	18
3.3.2. Nedves feltárás, növényminták kénsavas roncsolása	19
3.3.3. Növények összes foszfortartalmának meghatározása	19
3.3.4. A növények összes káliumtartalmának meghatározása	20
3.3.5. Értékelés	20
4. EREDMÉNYEK	21
4.1 AZ ANGOLPERJE TESZTNÖVÉNYEK LÉGSZÁRAZ TÖMEGE	21
4.2 NÖVÉNYMINTÁK FOSZFORTARTALMA ÉS A NÖVÉNYI FOSZFOR FELVÉTEL	23
4.3 NÖVÉNYMINTÁK KÁLIUMTARTALMA ÉS A NÖVÉNYI KÁLIUM FELVÉTEL	27
4.4 NÖVÉNYMINTÁK KALCIUMTARTALMA	31
4.5 NÖVÉNYMINTÁK MAGNÉZIUMTARTALMA	32
4.6 NÖVÉNYMINTÁK RÉZTARTALMA	35
4.7 NÖVÉNYMINTÁK CINKTARTALMA	36
4.8 NÖVÉNYMINTÁK VASTARTALMA	37
4.9 NÖVÉNYMINTÁK MANGÁNTARTALMA	38
4.10 NÖVÉNYMINTÁK KRÓMTARTALMA	39
5. ÖSSZEFOGLALÁS	41
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	42
IRODALOMJEGYZÉK:	43
FOLYÓIRATOK:	44
INTERNETES HIVATKOZÁSOK:	44
RENDELETEK:	45

1. Bevezetés és Célkitűzések

Manapság egyre több biogáz üzem épül Magyarországon is. A biogáz előállítása több szempontból is különleges helyet foglal el a megújuló energiaforrások között. Ez az a biomassa felhasználási mód, amely a legsokoldalúbb módon elégíti ki a felhasználó gazdasági vállalkozások igényeit, hiszen a folyamatban közvetlenül vagy további átalakítás során többféle termék állítható elő. Elsősorban biogáz, másodsorban a biogáz gyártás során képződő melléktermék a fermentlé, amely a folyamatban felhasznált szerves trágyánál, egyéb alapanyagoknál, illetve kommunális szennyvíziszapnál jóval értékesebb. (Bai, 2007). Azonban amilyen sokféle alapanyagból állítható elő biogáz, olyan sokféle lesz a visszamaradó fermentlé is.

A megújuló energiaforrások között a biogáz kevés figyelmet kap, noha minden élelmiszer gazdasági vagy kommunális szférában képződött szerves anyag alkalmas biogáz előállítására, így egyfajta hulladékkezelési megoldás is. Az alkalmazhatóságot azonban jelentősen képes korlátozni az, hogy a kiejert fermentlé igen nagy mennyiségben keletkezik, üzemenként akár 12–60 ezer m³/év mennyiségben is. (Nagy, 2009). Fő alkotója a víz, ennek egyszerű oka, hogy a jelenleg Magyarországon működő és telepítés alatt álló üzemek nedves rendszerű technológiát alkalmaznak a biogáz előállításra. Az így keletkező fermentlé szárazanyagtartalma nem haladja meg a 12%-ot, továbbá az alacsony biokonverzió miatt jelentős mennyiségben kerül bevitelre biomassa, amelynek fogyása kicsi, valamint a vízveszteség is elhanyagolható, így végeredményben a térfogatveszteség nem lesz számottevő. Nagy megjegyzi, hogy saját biogáz üzemükben ez az érték 10% alatt van, és csak félszáraz technológiánál írtak le magasabbat. Összességében a hatalmas mennyiségű kiejert fermentlé kérdése nem megkerülhető biogáz üzemek fejlesztésekor, telepítésekor.

A jelenlegi jogszabályok szigorúan korlátozzák a fermentlé mezőgazdasági felhasználását, így a folyamatosan képződő fermentlé többnyire tározókba kerül.

A pirolízis szilárd végterméke a bioszén, amelyet a biogázhoz hasonlóan hulladék biomasszából lehet és célszerű előállítani hőbontással. Ez igen sokféle megoldással és léptékben mehet végbe. A bioszén alapanyagául rengeteg mezőgazdasági hulladék mind például szántóföldi, feldolgozási hulladék szolgálhat. A bioszén, mint a pirolízis szilárd végterméke ígéretes koncepciót biztosít a klímaváltozás mérséklésére és a légköri CO₂ csökkentésére, miközben javítja a talajminőséget is.

A bioszén talajra gyakorolt pozitív hatása elsősorban a hatalmas felületi porozitásnak köszönhető. A porozitás és a felület mérete együttesen lehetővé teszi, hogy a bioszén abszorbeáljon és tároljon tápanyagokat, levegőt és vizet, miközben életteret is biztosít különböző mikróbáknak. Továbbá a bioszén aprózódása során oxigént is juttat a talajba és izolálja az agyagszemcséket, ezáltal csökken a talaj elektromos töltöttsége, és a talaj porhanyósabb lesz.

Ezt a talajjavító technológiát Magyarországon még nem alkalmazzák, újszerű felhasználási módnak tekinthető a biogázüzemi fermentlével történő keverése is, így ez a dolgozat a fermentlé és a pirolízis szilárd végtermék vagyis a bioszén együttes növényekre gyakorolt hatására összpontosít.

A tenyészedényes modellkísérlet során bioszenet és csontszenet is felhasználtunk, majd a második kísérlet során már bogázüzemi fermentlé is került a tenyészedényekbe. Mindkét kísérlet során vizsgáltuk a különböző kezelések talajra és a növényekre gyakorolt hatását.

Célkitűzések:

1. A téma átfogó jellegű irodalmának összegyűjtése.
2. Modellezni az erjesztési maradék és a bioszén, csontszén együttes talajra és növényre gyakorolt hatását tenyészedényes kísérletben.
3. Mélni a növényekből a növényi tápelemeket és mikroelemeket.
4. Következtetéseket levonni a csontszén és bioszén fermentlével közös felhasználását illetően.

2. Irodalmi Áttekintés

2.1 Bioszén

2.1.1 A bioszén definíciója

A bioszén igen sokféle alapanyagból állítható elő, és igen különböző tulajdonságokkal bírhat. Ezért fontos tisztáznunk mit is értünk bioszén címszó alatt. Hivatalos definíció szerint a bioszén olyan faszén, amely biomasszából nulla vagy kevés oxigén jelenlétében pirolízissel készült. Továbbá tudományosan igazolt, hogy bizonyos tulajdonságai miatt adott talajtípusokban, adott klíma alatt képes szenet lekötni és javítani a talaj tulajdonságait, miközben sem rövid, sem hosszú távon nem okoz káros hatást a tágabb értelemben vett ökoszisztémában, állati és emberi egészségben.

Röviden a bioszén olyan faszén, amelyet talajjavítási céllal hoztak létre. Fontos azonban figyelembe venni, hogy a bioszén megnevezés több pirolízis végtermékre is használatos. (Verheijen et al. 2010)

2.1.2 Bioszén alapanyagai

Bioszenet lehet és célszerű is hulladék biomasszából előállítani. A hulladékból előállított bioszén előnye, hogy a termelésből nem von el hasznos területet. A bioszén alapanyagául rengeteg mezőgazdasági hulladék is szolgálhat, mind a szántóföldi, mind a feldolgozási hulladékok közül. Ilyenek lehetnek a szármaradványok, maghéj, gyümölcsmag, állati trágyák stb. A bioszén alapanyagai természetesen nem tartalmazhatnak határérték felett toxikus anyagokat, így a szennyvíziszap és kommunális hulladék felhasználását ez korlátozza. (http1)

Dacára a rengeteg lehetséges bioszén alapanyagnak, a különböző alapanyagok alkalmassága nagyban függ a kémiai, fizikai, környezeti, gazdasági és logisztikai tényezőktől. Nyilvánvaló, hogy a bioszenek széntartalma többnyire stabil formában a talajban marad. Vizsgálatok alapján faszén esetében ez 100 és 1000 év közé tehető, azaz megközelítőleg tízszer, de akár ezerszer tovább marad a talajban, mint a legtöbb talaj szervesanyag (SOM). Ennek következtében a bioszén talajba keverése biztosíthatja a környezet lehetséges széntartalom csökkentését. Fontos azonban figyelembe venni, hogy ezek az adatok csak a fából égetett bioszénre vonatkoznak, az egyéb alapanyagok esetében további vizsgálatok szükségesek. (Verheijen et al. 2010)

2.1.3 Alapanyagok hatása a bioszén tápanyagtartalmára

A bioszén tápanyagtartalma elsősorban magától az alapanyagtól függ, továbbá a pirolízis időtartamától és hőmérsékletétől, mely körülmények nagyban befolyásolják a végtermékként kapott bioszén tápanyagtartalmát. (http1)

A bioszén talajra gyakorolt pozitív hatása elsősorban a hatalmas felületi porozitásnak köszönhető. A megfelelően készített bioszén akár 400-1200 m² felület nagyságot is produkálhat a szén mikroporozitásának köszönhetően. A porozitás és a felület mérete együttesen lehetővé teszi, hogy a bioszén abszorbeáljon és tápanyagokat, levegőt, vizet tároljon, miközben életteret is biztosít különböző mikroba konzorciumoknak és mikorrhizáknak.

Ezen felül a bioszén aprózódása során oxigént is juttat a talajba, izolálja az agyagszemcséket, ezáltal csökken a talaj elektromos töltöttsége és a talaj porhanyósabb lesz.

A bioszén égetésénél a hőmérsékletet 260 és 540°C között kell tartani, mivel a magasabb hőmérséklet erősen csökkenti a porozitást és a felületet egyaránt. (http2)

Mivel a pirolízis körülményei és az alapanyagok nagyban befolyásolják a végtermékként kapott bioszén fizikai és kémiai tulajdonságait, ez végezetül a felhasználhatóságát is meghatározza, valamint a környezetben történő viselkedését, transzportját és sorsát is. A különböző vizsgálatok alapján a bioszén tulajdonságai nagyfokú különbözőséget mutatnak, mind a különböző alapanyagokból és eljárásokkal készülő bioszenek, mind az adott típusok különböző felhasználási módszerei között. A bioszén tulajdonságai mint a kationcserekapacitás (CECs) az elhanyagolhatótól 40 cmol g⁻¹-ig, a C:N arány 7-től 500-ig (és tovább) változhat. A pH tipikusan semleges vagy bázikus, ez az egyetlen többnyire konstans tulajdonsága. Ez a nagyfokú különbözőség megnehezíti a egyes hatásmechanizmusok megértését, ellenben lehetőséget is nyújt újfajta technológiák kialakítására, amellyel egyes adott célokra megfelelő tulajdonságú bioszeneket lehet előállítani a talajtípus, a vízgazdálkodás, a klíma, a talajhasználat és a talajszennyezők figyelembe vételével. (Verheijen et al. 2010)

2.1.4 Bioszén talajra gyakorolt hatása

A bioszén jellemzői, mint a kémiai összetétel, a felületi funkciók csoportok, a részecske és pórusméret eloszlás, továbbá a fizikai és kémiai stabilitása a talajokban, mind meghatározzák a talajfunkciókra gyakorolt hatását. Sajnos kevés vizsgálat foglalkozik ezekkel

egyszerre, többnyire csak egyes funkciókat vizsgáltak, ráadásul különböző klímán és talajokon, különböző kezelésekkel. A bizonyított bioszén bemosódás és lebomlás elsősorban az abiotikus és biológiai degradációra és áthelyeződésre vezethető vissza mind a talajszelvényen belül mind a talajvizekben és felszíni vizekben. Sajnos kevés adat áll rendelkezésre ezekről a folyamatokról, mivel kevés tartamkísérlet foglalkozik a bioszén talajban történő viselkedésével. A bioszén talajra gyakorolt pozitív hatását mind a talaj tulajdonságaira, folyamataira és funkcióira csak a meglévő kevés kísérlet következtetéseire alapozhatjuk. Az ismert adatok extrapolálásával már csak emiatt is vigyáznunk kell. A különböző kísérleteket jellemzően csak néhány klíma- és talajtípuson, ill. trópusi terményekkel végezték el, így ezek alapján a bioszén európai felhasználása további szabadföldi tartamkísérleteket igényel.

Verheijen et al. a teljes bioszén felhasználással kapcsolatos irodalmat feldolgozták és különböző megállapításokat tettek a bioszén talajra és növényekre gyakorolt hatását illetően. Az eredmények a legtöbb esetben kicsi, de statisztikailag is igazolható pozitív hatást mutattak mind a talajfunkciók, mind a terméshozam tekintetében. A legjobb hatást a savanyú és durva szövetű talajok esetében érték el a kutatók. Továbbá a terméshozam növekedés és a pH növekedés között is tendencia volt megfigyelhető. Ez felveti, hogy a talajba kevert bioszén egyik fő hatása a terméshozam növekedést illetően a meszezéshez hasonló. További, még nem igazolt kutatások alapján a talajba kevert bioszén meggyorsítja a talaj szervesanyagok (SOM) lebomlását is. Ez hosszú távon káros következményekkel járhat a terméshozam tekintetében éppúgy, mint a légkörbe jutó CO₂ miatt is. A talajba kevert bioszén működését tekintve eltérő módon és erősebben köti meg a különböző szennyezőket (poliaromás szénhidrogének (PAH), peszticidek és herbicidek), mint a talaj szervesanyagai. Ez a tulajdonság nagyban csökkenti a talajtoxicitást és a gyakori szennyezők transzportját, csökkentve azok biológiai hozzáférhetőségét, azonban lokálisan felhalmozódva szennyezést is okozhat. A bioszenet, mint esetleges talajszennyezőt esetről esetre kell értékelni, nem csak a bioszén, hanem a talajtípus és a környezet állapotának függvényében is. (Verheijen et al. 2010)

2.1.5 A bioszén előállítása

A bioszén előállítási technológiákat két főbb csoportra lehet bontani, úgymint pirolízis rendszerek és elgázosító rendszerek.

A hőbontás vagy pirolízis a szerves anyagok szabályozott körülmények között bekövetkező kémiai lebontása. Ehhez megfelelően kialakított reaktorra van szükség, amelyben a hő hatására, oxigénszegény vagy oxigénmentes közegben, esetleg inert gázban történik a reakció.

A pirolízis során a szervesanyagokból pirolízisgáz, pirolízisolaj, egyéb folyadék és szilárd végtermék, a piroliziskoksz keletkezik. A végtermékek elsősorban energiahordozóként, mint fűtőgáz, tüzelőolaj vagy koksz, továbbá a szilárd, szénben dús maradék esetében talajjavítási célzattal használhatóak fel.

A pirolízis folyamán a reakciófeltételek elsődleges fontosságúak. Ide tartozik a hőmérséklet, a felfűtési idő és magának a reakciónak az ideje, de a szemcse vagy darabnagyság is. A keletkező pirolízis szilárd végtermék összetételének és részarányának meghatározója elsősorban a hőmérséklet. Az alkalmazott hőmérséklet 450-550°C, azonban egyes eljárások ennél magasabb hőmérsékleten üzemelnek. A bioszén előállítását megcélzó eljárások esetében azonban alacsonyabb hőmérséklet a megfelelő. (Barótfi, 2000)

A reaktorok fűtési módjuk szerint lehetnek közvetett és közvetlen fűtési megoldásúak. A közvetett fűtésű reaktorfalon keresztüli hőközlés rosszabb hatásfokú, azonban egyszerű üzemeltetésűek és jól szabályozhatóak. A közvetlen fűtésű reaktorokban a pirolízis és a hőenergiát szolgáltató részleges égés azonos térben megy végbe. A legjobb hőátadási viszonyok ezzel a megoldással érhetőek el, azonban megnő a pirolízisgáz széndioxid-, víz- és nitrogénoxid-tartalma és körülményesebb a folyamatszabályozás is.

A pirolízisnek további két válfaját használják gyakorlatban, a gyors pirolízist és a lassú pirolízist. A gyors pirolízis több pirolízisolajat és egyéb folyadékot termel, míg a lassú pirolízis több pirolízisgázt.

A gázosító rendszerek kisebb mennyiségű bioszén előállítására képesek hevített reakciótérbe bevezetett többletlevégővel.

Mindkét rendszer lehet mobil vagy helyhez kötött is. Egy nagyobb pirolízis egység 4000 kg/h bioszén is képes előállítani, kisebb gázosító egységek 50-1000 kg/h között termelnek. Még alacsonyabb termelői szinteken lehetséges olcsó fémhordókból előállítani a gázosítót, amely egy 200 literes hordó esetében az alapanyagoktól és más körülményektől függően 8-12 kg bioszén jelent 1-4 órás időtartam alatt. Négy emberrel és hét hordóval számolva naponta akár fél tonna bioszén is készíthető, ami így egy nagyon gazdaságos előállítási módot jelent.

További technológiák is ígéretesnek tűnnek a bioszén előállítására, mint a dob pirolizátor, a forgó kemence, a csavar pirolizátor, a gyors pirolízis reaktor, a fagáz kemence,

melyek mind különböző mértékben termelnek gázokat, pirolízis folyadékokat és bioszenet. (http3)

2.1.6 Bioszén használata külföldön

Mašek et. al. több kísérletet is végeztek a bioszén környezeti stabilitásával kapcsolatban. A vizsgálat során a különböző lebomlási folyamatok rövid és középtávú modellezése volt a középpontban. A vizsgálathoz három különböző hőfokon égetett bioszenet használtak fel. Megállapították, hogy a klímaváltozást csökkentő hatás, vagyis a bioszén stabilitása a pirolízis hőmérsékletének emelkedésével növelhető. (Mašek et al. 2011)

Kutatások alapján bizonyítható, hogy a bioszén terméshozzájáruló hatású és pozitívan befolyásolja a talajminőséget, a tápanyagkörfolyamatokat, csökkenti a bemosódást és stimulálja a mikrobiológiai aktivitást. Azonban ezek a tények elsősorban az eredendően rossz minőségű talajok esetében igazak, a közepes minőségű talajok esetében a pozitív hatások máig vitatottak. Quilliam et.al szabadföldi tartamkísérletben vizsgálta a bioszén talajra gyakorolt hosszú távú hatását, a terményminőséget, gyomosodást és a mikrobiológiai növekedést. Az eredmények alapján három év múltán a bioszénrel kezelt és a kezeletlen talajok között semmilyen különbség nem volt kimutatható tápanyagok, mikrobiológiai és mikorrhíza aktivitás vagy gyomosodás kapcsán. Azonban az ismételt bioszenes kezelést követően szignifikáns különbségek álltak elő foszfát, kálium, kalcium koncentráció, talajnedvesség és mikrobiológiai aktivitás tekintetében. Miközben a bioszén megkérdőjelezhetetlenül a szénmegkötés egyik stratégiai megoldása lehet, a további előnyei mint, amilyen a talajjavító hatása, a kutatások jelenlegi állása szerint mérsékelt éghővi mezőgazdasági talajokban rövidtávúak. Fontos azonban megjegyezni, hogy negatív hatást sehol sem tapasztaltak. (Quilliam et al. 2012)

Koreai kutatások alapján a pirolízis hőmérséklete nem csak a bioszén szerkezetét befolyásolja, hanem kémiai tulajdonságait is. Több kísérletben gyors pirolízissel három hőmérséklettartományban állítottak elő és vizsgáltak bioszenet. Megállapították, hogy a bioszén továbbbszenesedése a magasabb hőmérsékleten stabilabb kémiai formát is jelent, azonban az előállított mennyiség is csökken. A magas hőmérséklet hatására a kiindulási biomassa oxigén és hidrogén tartalma lecsökkent, ezáltal a visszamaradó szén rendezett aromás molekulaszervezetet képezett. (Kwang et al. 2012)

2.2 Biogáz

Ahhoz, hogy a fermentlé felhasználási jelentőségét megérthessük, ismernünk kell kialakulásának folyamatát, így szükséges a biogáz előállítás néhány alapvető tudnivalóját összefoglalni.

A 23/2003. (XII. 29.) KVVМ rendelet megfogalmazása szerint „metánból, széndioxidból és egyéb, nyomokban előforduló gázokból álló keverék, amely a biohulladék elsősorban irányított anaerob lebontásával keletkezik.”

A biogáz mikroorganizmusok anyagcsereterméke, amelynek fő összetevője a metán. Korábban mocsárgázként ismerték, bár mikrobiológiai eredetét csak később sikerült feltárni. 1867-ben írták le először a metán képződésének folyamatát etanolból, de a pontosabb ismereteink az utóbbi idők eredményei. A biogáz termelődhet továbbá a kérődző állatok bélműködése során, vagy emberi tevékenységek során is a hulladéklerakó telepen depóniagázként, de kommunális szennyvíziszap, állati trágyák és mezőgazdasági maradékok fermentációja esetén is biogáz keletkezik.

A különböző szerves anyagok lebontásának eredményeként keletkező biogáz 50-70%-ban metánt, 28-48%-ban széndioxidot, és 1-2%-ban egyéb gázokat (nitrogén, kénhidrogén, hidrogén, szénmonoxid, oxigén) tartalmaz. Azonban a gáz összetétele alapanyagonként és technológiánként eltérő. A legmagasabb metántartalma a szennyvíziszapoknak van (70%), ezt követik a mezőgazdasági melléktermékek (60-65%), majd a szilárd települési hulladék (50%). (Bai, 2007)

2.3 Trágyázás és a biogázüzemi fermentlé

A földművelésben a legrégebben használt tápanyagutánpótlási mód a szerves trágyázás. Ez igen sokoldalú, kedvező a talaj szerkezetére és a különböző tápanyagtartalom hosszabb idő alatt szabadul fel, így hosszú távon is kielégíti a növények tápanyag igényét. A szerves trágyák legfontosabb összetevői a humuszanyagok, amelyek a talajéletre is kedvezően hatnak, továbbá pufferként is szolgálnak a talajszennyezésekkel szemben és a vízháztartásban is fontos szerepük van.

A szervesetlen vagy ásványi trágyák (műtrágyák) ipari termékek. Előnyös tulajdonságaik közé tartozik, hogy megfelelő időpontban, megfelelő mennyiségben juttathatók ki. Hátrányos tulajdonságuk azonban a talajsavanyítás, továbbá túladagolásukkal környezeti problémákat okozhatnak. Legismertebb ilyen folyamat a nitrát kimosódás, amely a talajvíz elszennyezését okozhatja, továbbá a foszfát műtrágyák élővizekbe jutásakor

eutrofizáció léphet fel. Ezen anyagok használatakor a lehető legjobban kell a talajt ismernünk, valamint a trágya kémiai tulajdonságait és hatásmechanizmusát is. A trágyázás hatására a növény és a talaj életében bekövetkező változásokat szintén figyelembe kell venni, ám ez a tudás gyakran nem áll a használók rendelkezésére (Nyiri, 1993).

A fermentlé felhasználható biotrágyaként. Az alapanyagul szolgáló szerves tárgya félszáraz eljárás során 28-48%-kal csökkentett szervesanyag tartalmában a fajlagos tápanyagtartalom közel kétszerese az első osztályú istállótrágyáénak. Ehhez hozzájárul még a kedvező biológiai hatás, a jóval magasabb ammónium-N tartalom, a lúgos pH, amelyek eredményezhetik a komposztokhoz képest 50%-os, míg műtrágyákhoz képest 30%-os terméstoppletet, amelyet külföldi adatok is igazolnak. (Bai, 2007).

Dieterich et al. Írországi szabadföldi tartamkísérletben hasonlította össze a kalcium-ammónium nitrát (CAM) műtrágya és a fermentlé termésmenvelő és környezetre gyakorolt hatását. A kísérlet során megállapították, hogy a learatott növények szárazanyag tartalom növekedését tekintve nagyobb változás állt be a CAM hatására mint a fermentlé esetében, azonban ez a különbség magasabb N dózis esetén már nem jelentkezett, sőt a fermentlé esetében még nagy koncentráció esetén is pozitív volt, amelyet a kutatók az NH_3 tartalom egy részének elillanására vezettek vissza. A legnagyobb terméstoppletet azonban a CAM és fermentlé együttes kombinált használatával érték el. Ennek magyarázata lehet a talaj szerves széntartalmának növekedése a fermentlé kijuttatás következményeként, amely nagyobb tartózkodási időt tett lehetővé a növények számára hozzáférhető N tekintetében is. (Dieterich et al. 2009)

Jeyabal et al. Indiában mezőgazdasági és agráripari hulladékok földigilisztákkal történő komposztálását vizsgálta, továbbá a gilisztakomposzt hatását rizs-hüvelyes vetésforgóban. Megállapította, hogy a kiejedt fermentlé és zöldhulladék ideális kombináció gilisztakomposzt előállítására, a tápanyagok és a komposzt érése szempontjából. A C:N arány 21-69:1-ről 12-17:1-re csökkent. Tenyészedényes és szabadföldi kísérletben is megállapítást nyert, hogy az N műtrágya és gilisztakomposzt integrált alkalmazása más termésmenvelő mikrobiológiai készítménnyel együtt akár 10-20%-kal is növelte a rizs termés hozamát a hagyományos N műtrágyázáshoz képest. Továbbá ~10%-kal növelte a P, K felvételt és a talaj szervesszén tartalma sem csökkent a kísérlet során. (Jeyabal et al. 2000)

Moller et al. vizsgálta a fermentlé N veszteséget csökkentő hatásait. Mint kiemelni a N a leghajlamosabb tápelem az átalakulásra beleértve a mineralizációt, immobilizációt, nitrifikációt és denitrifikációt, a bemosódást és az ammónia képződést is. Kísérletek során bebizonyosodott, hogy a szerves trágyázás, fermentlé és zöldtrágya együttes alkalmazása,

vagy lóhere és fűkaszálék mulcsozás erős N_2O emisszió növekedést okoz. Azonban, amennyiben a növényi maradékokat betakarítás után biogáz előállításra használták, majd a kierjedt fermentlevet jutatták ki a földekre, 38%-os emisszió csökkenést értek el. Megállapítást nyert, hogy a növényi maradékok biogáz termelésre történő felhasználása kétszeresen is hasznos, járulékos energia nyereséggel, továbbá csökkent N_2O emisszióval és nitrát bemosódással jár. Azonban érdemes figyelembe venni, hogy az ammónia felszabadulás magasabb a kierjedt fermentlé esetén, köszönhetően a magasabb pH-nak és ammónia tartalomnak. (Moller et al. 2008)

2.3.1 Az üzemi fermentlé tulajdonságai

A biomassa erjesztési eljárások során a különböző fajta kiindulási nyersanyag jellemzőinek megfelelően egymással egyenrangú két termék keletkezik. Ez a biogáz és a ferment maradék. Ez a visszamaradó szervesanyag jó minőségű trágyaként, összefoglaló néven biotrágyaként hasznosítható (Barótfi, 2000), így mint tápanyag visszakerülhet a földekre. Magának a kierjedt fermentlének a minőségét annak kémiai, biológiai és fizikai tulajdonságai határozzák meg, amelyek természetesen nagyban függenek az alkalmazott alapanyagoktól és a technológiai körülményektől is. Az üzemi fermentlé enyhén lúgos kémhatású, makro- és mikroelemekben gazdag, nyomelemeket, szerves vegyületeket egyaránt tartalmazó komplex tápanyagnak tekinthető. (Schulz & Eder, 2001). A kierjedt fermentlé biotrágyaként történő alkalmazása során értékét leginkább ammónia-N tartalma jelenti, ám mezőgazdasági felhasználását a magas réz és cink tartalma, sótartalma, esetleges fitotoxicitása és higiénias jellemzői korlátozhatják, amelyeket figyelembe kell venni használatakor. (Albuquerque et al. 2012)

Gulyás et al. megállapította, hogy a fermentum kémhatása 7,8 és 8,7 között változik, míg nitrogén, foszfor és kálium tartalma nagyban függ a felhasznált alapanyagtól, azonban általában a komposztokhoz képest magasabb összes-N, P és K tartalommal rendelkezik. A N általában 60-80%-ban ammónia formájában van jelen. Ez fontos a megfelelő mennyiségű fermentum kijuttatásában a Nitrát direktívában meghatározott, maximálisan kijuttatható N miatt, és a N csírázás csökkentő szerepe okán is. Bár a fermentlé lúgos kémhatású, a nagy mennyiségben található ammónium ionból a nitrifikáció során felszabaduló H^+ ionok miatt a talaj kémhatása csökkenhet. A fermentum tartalmazhat továbbá toxikus elemeket is, amelyek leginkább az állati takarmányok adalékanyagaiból, az élelmiszeripari anyagokból, a szennyvízből és szennyvíziszapból, zsírokból származhatnak. (Gulyás et al. 2013) A dömsödi

biogáztelep által felhasznált alapanyagok a következők: szennyvíziszap, trágya, konzervipari mosóvíz, zsír, glicerín, állati eredetű fehérjék, konyhai hulladék. Látható tehát, hogy több alapanyag is jelenthet potenciális szennyezőforrást. McLachlan et al. kanadai kutatók megállapították, hogy a fermentlé esetleges fitotoxikus hatása döntően oldható sótartalmától függ és nem nehézfém tartalmától. (McLachlan et al. 2002)

Pognani et al. olasz kutatók szerint a települési szilárd hulladék (TSZH) biológiailag bontható frakciója is felhasználható az energianövények kiváltására a biogázüzemek fermentációs alapanyagaként. A kísérletük során biológiai, kémiai paraméterek kerültek meghatározásra. Eredményeik azt mutatták, hogy nincs nagy különbség a biogáz termelődés során a kétféle alapanyag között és a ferment maradványuk is egyaránt felhasználható mezőgazdasági művelésben. (Pognani et al. 2009)

2.3.2 A fermentlé használata Magyarországon

A jelenleg Magyarországon működő és telepítés alatt álló üzemek nedves rendszerű technológiát alkalmaznak a biogázéleállításra. A biogáz termelődése nedves fermentáció esetében 12%-nál alacsonyabb szárazanyagtartalmú fermentlevet eredményez, amely a tartózkodási idő leteltével kikerül a reaktorból. A kiejedt fermentlé felhasználásig tárolóba kerül. A kiejedt fermentlevet a jelenlegi gyakorlat alapján a mezőgazdasági területek tápanyagutánpótlására hasznosítják. Mégis kevés az olyan kutatás idehaza, amely az üzemi kiejedt fermentlé tulajdonságaival, hasznosíthatóságával részleteiben foglalkozna. Pedig a biogázüzemek létesítésének alapfeltétele a végtermék biztonságos elhelyezése már a projektervezés időszakában. (Nagy, 2009)

Kovács részletesen jellemzi a visszamaradó fermentlevet. Véleménye szerint a fermentáció után visszamaradt anyag sokkal jobban alkalmazható a talaj szervesanyag utánpótlására, mint az istállótrágya, mert az anaerob kezelés során a N tartalom megőrződik, az elfolyó anyag pH-értéke 7-ről 8-ra emelkedik. Istállótrágya esetében a C:N arány 30–50%-kal kevesebb, tehát a keletkező termék megfelel közvetlen mezőgazdasági alkalmazásra, a folyamat során a P és K tartalom a növények számára könnyen felvehető formába kerül, ráadásul a gyommagvak csírázóképesége csökken és a fermentlé kevesebb kellemetlen szaganyagot tartalmaz. Az anaerob fermentáció során az emberre veszélyes patogén baktériumok jelentős része is elpusztul, és a termék térfogata is csökken, így könnyebben és biztonságosabban tárolható. A keletkező anyag biológiailag stabilabb a kiinduláshoz képest, a

BOI 60–70%-kal, a KOI 50–60%-kal alacsonyabb az anaerob fermentáció után. (Kovács, 2005)

A fermentlé használatával szemben azonban több elvárást is megfogalmazhatunk. Elsőként biztosítsa a növények számára szükséges tápanyagokat, ne következzen be nitrátosodás, de ne csökkenjen a talaj tápanyagtartalma sem. A használat ne indítson be káros folyamatokat (savanyodás, szikesedés, pufferkapacitás csökkenése) és ne szennyezze a talajt toxikus elemekkel sem.

Magyarországon egyre több biogáz üzem épül, mely összességében megnövekedett fermentlé mennyiséget jelent, amit folyamatosan el kell tudni helyezni vagy szántóföldön, vagy tározókban. A biogáz üzemeket általában 20 évre tervezik, azaz ennyi éven át folyamatosan rendelkezésre áll a fermentlé a tápanyag-utánpótlására. Ebből kifolyólag fontos tudnunk, hogy alkalmazása során milyen változásokat okozhat a talaj biológiai, kémiai és fizikai tulajdonságaiban.

A fermentlé felhasználására vonatkozóan a legfontosabb feltételeket az 50/2001. (IV. 3.) Kormányrendelet szabályozza. A kormányrendelet a biotrágyát vagy fermentálási maradékot a kezelt iszap vagy szennyvíziszap megnevezéssel illeti. Megkülönböztet azonban szennyvíziszap komposzt kategóriát, amely a kormányrendelet szövege szerint „olyan szennyvíziszap, amelyhez biohulladékot és ásványi eredetű adalékokat kevertek és az a külön jogszabály szerinti komposztáló telepen kerül előállításra”. A mezőgazdasági területen csak a rendeletnek megfelelő szennyvíz, szennyvíziszap és szennyvíziszap komposzt használható fel. A mezőgazdasági felhasználás továbbá engedélyhez kötött tevékenység, amelyet a talajvédelmi hatóság engedélyez.

2.3.3 A fermentlé használata külföldön

Maunuksela et al. finn kutatók 2012-es kísérletei során három különböző biogázerőmű fermentumát vizsgálták minőség és esetleges fitotoxicitás tekintetében. A három biogázerőmű szerves hulladékot, mezőgazdasági és ipari melléktermékeket is felhasznál. A kísérlet során csíratesztet és növekedési vizsgálatokat végeztek három teszt növényen is. Ezek az alábbiak voltak: árpa, kínai kel és zsázsa. Az eredményeik azt mutatták, hogy mind a folyékony, mind a szilárd biogázüzemi fermentum alkalmas tápanyagutánpótlásra és talajjavításra gabonanövények esetében, mint amilyen az árpa is.

A zsázssával végzett csírateszt kedvező eredményeket produkált, a hagyományos szerves trágyával összehasonlítva a fermentlé eredményei kedvezőbbek voltak, így azt mezőgazdasági használatra alkalmasnak találták. Továbbá a csírázási arány és a gyökernövekedés is

kedvezőbb volt a biogázüzemi fermentlével kezelt növények esetében, mint a NPK műtrágyával kezelteknél. Ez olyan előnyökre világít rá, amelyek nem érhetőek el hagyományos szervesetlen műtrágyázással. Továbbá a szerves anyagok a mikrobiológiai aktivitásra és a gyökérnövekedésre is pozitív hatással voltak, így a fermentlevet előnyösebbnek találták, mint az ásványi eredetű műtrágyákat. (Maunuksela et al. 2012)

Fuchs et al. svájci kutatók 2008-ban a fermentlé környezetre és termés hozamra gyakorolt hatását vizsgálták, komposztal összevetve. A kutatás során 100 különböző komposztálórendszerű és minőségű, svájci piacon elérhető komposztot és fermentlevet hasonlítottak össze. Megállapították, hogy a szervesanyag tartalom nagyban változott mind a komposztok, mind a fermentlevek esetében, amely elsősorban az alapanyagoktól függött, továbbá megállapították, hogy a fermentlevek szerves anyaga kevésbé stabil, azonban talajhoz keverve a benne található N nagyobb mértékben mineralizálódik, mint a friss komposztok esetében. Azonban a rosszul tárolt vagy kezelt fermentum nitrogént köt meg a talajból. A túlságosan száraz termékek teljes mértékben elvesztették ammonia-N tartalmukat, amely tápanyagtartalmuk döntő részét tette ki. Szántóföldi kísérletekben a biogázüzemi fermentlé növelte a pH-t és a mikrobiológiai aktivitást ugyanolyan mértékben, mint a sima komposzt. Ezek a hatások kimutathatóak voltak egy év elteltével is. (Fuchs et al. 2008)

Odlare et al. svéd kutatók 4 éves tartamkísérletet végeztek különböző szerves tápanyagpótló anyagokkal, és vizsgálták a talaj kémiai és a mikrobiológiai életre gyakorolt hatásukat. Egyszerű vetésforgóban árpát és zabot termeltek. A kísérlet során az alábbi anyagokat használták fel: TSZH komposzt, biogázüzemi fermentlé, anaerob rothasztáson átesett szennyvíziszap, sertéstrágya, tehéntrágya és műtrágya. A kezelések minden esetben $100 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ év}^{-1}$ -nek feleltek meg. Minden év őszén mintázták a talajokat 1 hónappal az aratást követően. A mintákból részletes vizsgálatokat végeztek, mint pH, szerves C, összes N, összes P, összes S, ammóniumlaktátos P és K meghatározása. Az eredmények kevés tisztán kirajzolódó tendenciát mutattak. A biogázüzemi fermentlével és a komposztal kezelt talajok minden esetben nagyobb mikrobiológiai aktivitást mutattak mint a kezeletlenek. A fermentlé továbbá növelte a potenciális ammónia oxidáció (PAO) mértékét, a N mineralizációs kapacitást és a denitrifikáló baktériumok növekedési ütemét. A különböző kezeléseken felhasznált anyagok magas nehézfémkoncentrációjának ellenére sem volt kimutatható negatív hatás sem a talaj kémiai, sem mikrobiológiai tulajdonságaiban. A mikrobiológiai változások azonban jóval gyorsabban zajlottak le mint a kémiai változások, így a talajmikrobiológiai folyamatok érzékenyebb indikátorként működhetnek rövidtávú változások kimutatására, mint a kémiai paraméterek. (Odlare et al. 2007)

Hong et al. koreai kutatók rizs teraszokon vizsgálták a fermentlé felhasználhatóságát. Eredményeik azt mutatták, hogy a fermentlé növelte a kicserélhető P, Cu, Zn koncentrációt, feltehetőleg a biogázüzemi fermentlé magas sertéstrágya aránynak köszönhetően. A magas sótartalom figyelembe vételével, ami az élelmiszer hulladékból származik, szigorú szabályozást igényel a fermentlé biztonságos felhasználása szántóföldön az értékes tápanyagtartalom ellenére is. Az eredményeik azt mutatták, hogy a magas sótartalom figyelembe vételével azonban a fermentlé felhasználható N pótlásra. (Hong et al. 2010)

2.4 Fahamu és fermentlé együttes használata

Insam et al. 2009-ben végzett kísérlete fahamu és biogázüzemi fermentlé együttes és külön-külön vett hatását vizsgálta a mikrobiológiai tulajdonságok és a növény növekedés figyelembe vételével. Másodlagos célként az extrém magas dózisok hatását vizsgálták a nitrát bemosódásra, és ennek elkerülésére agyagásvány hozzáadásával.

A kísérlethez miniatűr lyziméterekben talajt, valamint fermentlé, fahamu és vermikulit keverékéből álló elegyet helyeztek el. A keverék N tartalma 180 kg N ha^{-1} -nak felelt meg. Fahamuból kétféle kezelést alkalmaztak. A kísérlet során a kísérleti csöveket hetente 100-200 ml ioncserélt vízzel öntözték és a hőmérsékletet tartósan 22°C -on tartották.

A kísérlet végeztével talajmikrobiológiai tesztek végeztek, a növényeket pedig a talajszint fölött 1 cm-el learatták, majd 80°C -on szárították. A növényekből C és N tartalmat határoztak meg. Továbbá csíratesztet és növekedési tesztet is végeztek zsákszával.

A vizsgálati eredmények azt mutatták, hogy a fahamu és a fermentlé együttes hatása a mikrobiológiai aktivitásra nem volt számottevő, azonban a mikroba közösség a vizsgált talajokban nagy mértékben megváltozott. A csíratesztek további enyhe gátlást mutattak mind a fermentlé, mind a fahamu esetében. A kísérlet következtetéseként levonható, hogy a fahamuval kombinált fermentleves kezelés hatására a talaj sótartalma megnőtt és ez negatív hatással volt a növény-növekedésre is. Azonban vermikulit hozzákeverésével ezek a káros hatások enyhíthetőek voltak.

A kutatók további kísérletekben kisebb mennyiségű fermentlevet és több fahamu vagy agyagásvány hozzáadását javasolják. Továbbá kiemelik, hogy az agyagásvány bekeverés ígéretes kiegészítője lehet a fermentlé és fahamu talajjavító trágyaként történő felhasználásának. (Insam et al. 2009)

3. Anyag és módszer

3.1 A tenyészedényes modellkísérletben felhasznált talajok

A tenyészedényes kísérlethez felhasznált talajminták a Szent István Egyetem Szárítópusztai Növénytermesztési Tanüzemének területéről származnak. A tangazdaság (a Gödöllői-dombság talajviszonyaihoz hasonlóan) igen változatos talajtípusokkal jellemezhető a terület lejtőviszonyainak, és a talajképző kőzet változatosságának megfelelően.

A modellkísérletben felhasznált talajtípus tulajdonságait döntően a nagy szemcseméret (2-0.02 mm), a kevés ásványi és szerves kolloid, az ezzel összefüggésben lévő gyenge vízgazdálkodási jellemzők (mint a gyenge víztartó és nagy vízáteresztő képesség), továbbá a gyenge tápanyaggazdálkodási jellemzők határozzák meg.

3.2 A tenyészedényes modellkísérlet

A kísérletek beállításához a Szent István Egyetem Szárítópusztai Növénytermesztési Tanüzeméből származó talajt használtunk. A talajhoz különböző magyarországi pirolízis üzemekből származó szilárd végtermékeket adtunk. Ezek a szilárd végtermékek teljes mértékben szerves hulladékok pirolíziséből származnak. Mezőgazdasági szempontból csak ilyen alapanyagból készült termékek használhatóak fel szántóföldi vagy más körülmények között.

Az első kísérlet 2013. május 21-től június 26-ig tartott. A kísérlet során kilenc kezelést végeztünk négy ismételtsben. Négy kezeléshez csontszén, míg négy kezeléshez bioszén használtunk. A kisméretű tenyészedényekbe kezelésként közel 1000 g száraz és előzetesen darálással megdarált, növényi részekből megtisztított talajt mértünk ki, majd ehhez kevertük a megfelelő mennyiségű csontszén, illetve bioszén. Az első kezelés mindkét hozzáadott anyag esetében 10 g, azaz 1% talajba kevert szén volt, a második kezelés 25 g, azaz 2,5%, a harmadik kezelés 50 g, vagyis 5%, míg az utolsó kezelés 100 g, vagyis 10% hozzáadott szén jelentett. (1 táblázat)

A kisméretű tenyészedények megnedvesítéséhez szükséges víz mennyiségét a kötöttség alapján állapítottuk meg, ami a kötöttség 60%-ának megfelelő ($150 \text{ cm}^3/\text{kg}$) mennyiségű vizet jelentett az egy kg keverékhez. A tenyészedényekbe egyenként 2 g angolperjét vetettünk. A tenyészedényeket naponta öntöztük és a csírázástól számítva mértük az átlagos növénymagasságot.

A második kísérlet 2013. július 5-től augusztus 3-ig tartott azonos kezelésekkel, annyi különbséggel, hogy minden kezeléshez csak 120 ml desztillált vizet, továbbá 30 ml biogázüzemi fermentlevet kevertünk, amely 170 kg/ha N-nek felel meg. A tenyészedényeket szintén naponta öntöztük és a csírázástól számítva mértük az átlagos növénymagasságot.

A kísérletek végeztével a növényeket learattuk és a talajokkal együtt megszárítottuk, a talajokat pedig száradás után mozsárban porítottuk, előzőleg pedig a gyökérnövekedés erősségét regisztráltuk. A talaj és növénymintákat további vizsgálatainkhoz felhasználtuk. Minden kezelés esetében három ismételtsben végeztük méréseinket.

A növények zöld tömegét és száraz tömegét egyaránt mértük, továbbá a gyökérfejlettséget is regisztráltuk.

Minta jele	Talaj mennyisége	Hozzáadott szilárd végtermék mennyisége
B10	990 g talaj	10 g bioszén
B25	975 g talaj	25 g bioszén
B50	950 g talaj	50 g bioszén
B100	900 g talaj	100 g bioszén
Cs10	990 g talaj	10 g csontszén
Cs25	975 g talaj	25 g csontszén
Cs50	950 g talaj	50 g csontszén
Cs100	900 g talaj	100 g csontszén
K (Kontroll)	1000 g talaj	

1 táblázat: A bekeverési arányok és a kezelések jelölése

Feltehetően a beérkezés előtt az üzemekben tévesen kerültek felcímkezésre, a csont- és bioszén össze lettek cserélve, így az eredmények eszerint értékelendők!

3.3 A kémiai mérések

A növényekből mikroelem meghatározást, továbbá összes foszfor- és összes káliumtartalom meghatározási vizsgálatokat végeztünk.

3.3.1. Növényminták sósavas hidrolízise

0,2 g légszáraz növénymintát becsiszolt Erlenmeyer-lombikba bemértünk, majd 5 ml 2n sósavoldatot adtunk hozzá és becsiszolt üveg dugóval lezártuk. 105°C-on 3 órán keresztül

hidrolizáltuk. Lehűlés után 25 ml-re feltöltöttük az oldatot desztillált vízzel, majd homogenizálás után átszűrtük. (Barna, 2008) A szűrletből mikroelemeket határoztunk meg atomabszorpciós spektrofotométerrel abszorpciós üzemmódban.

3.3.2. Nedves feltárás, növényminták kénsavas roncsolása

A tömény kénsav rendkívül hatékony vízelvonó anyag, egy adott kritikus hőmérsékleten elvonja a szervesanyagok vízelemeit és szén válik szabaddá. A kénsav bomlási hőmérsékleten 338°C-on forralva oxidál. A szabaddá vált szenet az atomos oxigén széndioxiddá oxidálja. A kénsavból keletkező kéndioxid pedig a felszabaduló nitrogént ammóniává redukálja, amely a kénsav feleslegével $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ sót képez a közegben.

A roncsolás rendszeren hosszú nyakú Kjeldahl féle körtealakú lombikban végezzük. A lombik nyaka a vízgőz kondenzálására való és a roncsolófolyadék gyors bepárlódását megakadályozza. A használt oxidáns a hidrogénperoxid.

A roncsolásnak különböző szakaszai vannak, vízelvonás, szenesedés, az oldat tisztulása és utóforralás. A roncsolásnál törekedni kell az analitikai hibák csökkentésére, mivel az jelentősen befolyásolja a feltárt mintából történő további meghatározások megbízhatóságát.

A vizsgálandó légszáraz növényi mintából 0,3 g-ot, illetve, ahol ez nem volt megvalósítható, 0,2 g-ot mértünk be analitikai mérleggel, 250 ml-es hosszú nyakú körtealakú Kjeldahl roncsolólombikokba. A mintákat elszívófülke alatt 10 ml tömény kénsavval öntöttük fel, körmozgatva összeráztuk. Az így előkészített anyagot roncsolófülkében roncsolóállványon forraltuk, figyelve az erős felhabzásra. Az első forralás után 2-3 ml hidrogénperoxidot csepegtettünk a lombik ferde tartásánál az üvegbe, majd újra forralni kezdtük a ködszerű fehér gőzök megjelenéséig. Többszöri ismételtsben hidrogénperoxidot csepegtettünk a mintákra, majd miután letisztult, a roncsolást befejeztük. A roncsolás végén 10 ml desztillált vizet adtunk a mintákhoz, majd lehűlés után a kénsavas feltárásból törzsoldatot készítettünk, 100 ml-es normál-lombikban.

3.3.3. Növények összes foszfortartalmának meghatározása

A növények összes foszfortartalmát a minta kénsavas feltárásából kolorimetrikusan határozhatjuk meg.

A vizsgálathoz ammónium molibdenátos módszert alkalmaztunk, amely a kékszínű redukált foszformolibdát komplex extinkcióját méri 660 nm hullámhosszon.

A mérést nem befolyásolja a közegben lévő sósav, kénsav, salétromsav, ecetsav, NH_4^+ , K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} és Al^{3+} ionok. Ennek megfelelően a foszfor fotometrázáshoz előkészített oldatunkban a spektrofotométeren való mérést követően a növény minta káliumtartalmát is meghatározhattuk lángfotométer segítségével.

3.3.4. A növények összes káliumtartalmának meghatározása

A kálium a növényekben jellemzően K^+ ion formájában található meg, különösen az intenzíven növekedő részekben dúsul fel. A növényen belüli áramlása jellemző. A kénsavas feltárásból a növény minta K^+ ion tartalma többféle képpen is meghatározható, legegyszerűbben azonban atomabszorpciós spektrofotometriával. (Debreczeni & Rády, 1975)

3.3.5. Értékelés

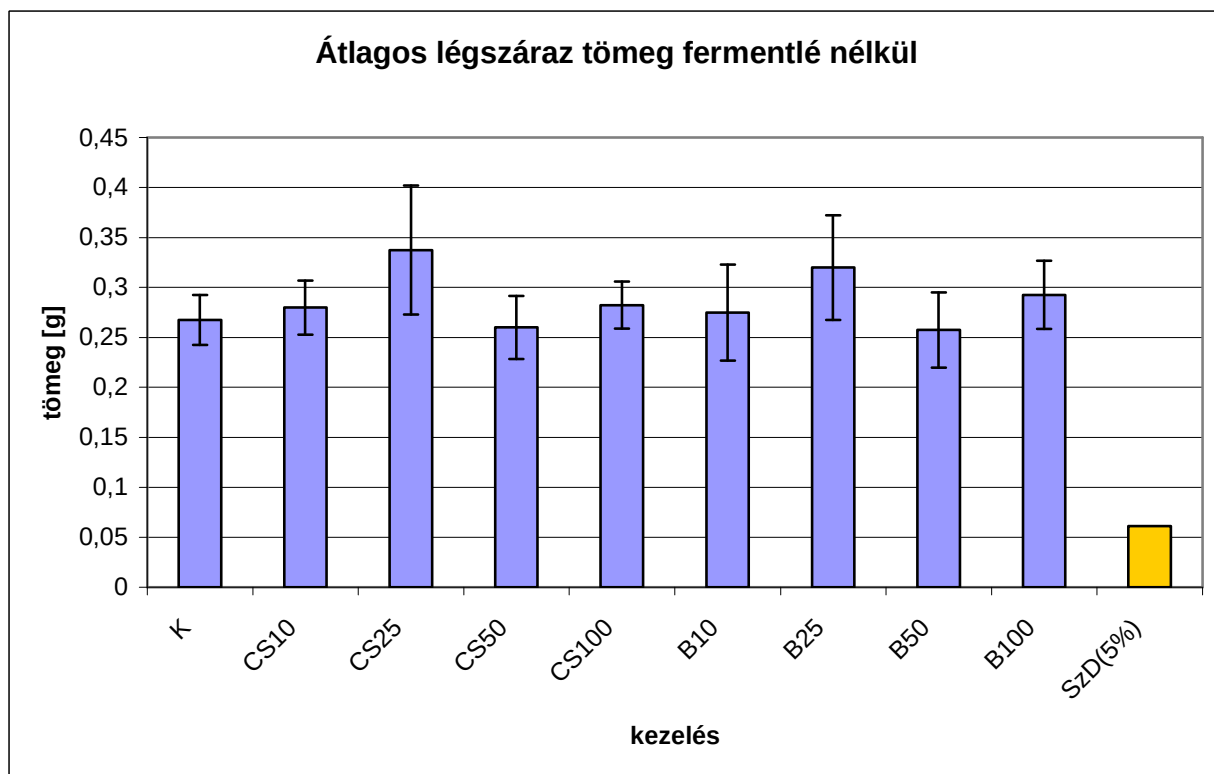
A kísérletsorozat mérési eredményeit számítógépen rögzítettük és az adatokból adatbázist alakítottunk ki MS Excel program felhasználásával.

Az adatok matematikai, statisztikai értékelését egytényezős variancia-analízissel, míg a két kísérlet összehasonlítását kéttényezős variancia-analízissel végeztem, melyhez a gödöllői Szent István Egyetem Talajtani és Agrokémia Tanszéken Dr. Tolner László által írt Excel makrókat használtam. Az SzD értéke $P=5\%$ -os, továbbá a kéttényezős variancia-analízisek esetében $P=10\%$ -os szignifikancia szinten lett megadva.

4. Eredmények

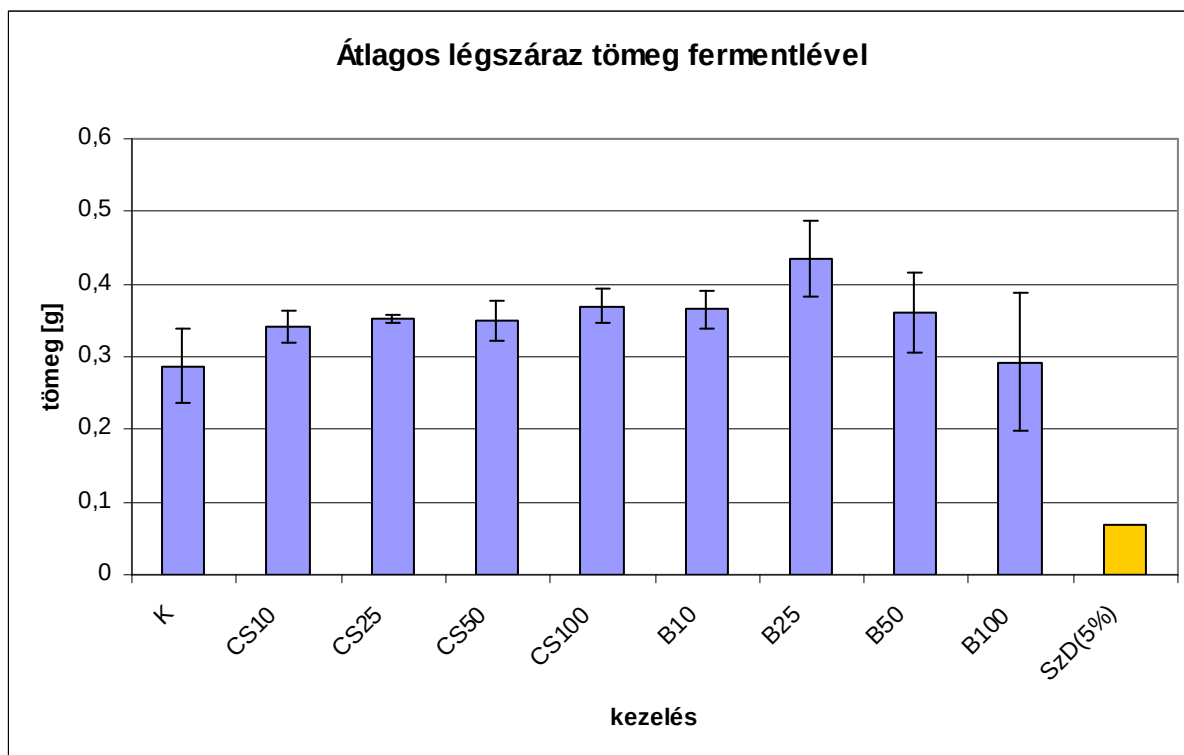
4.1 Az angolperje teszt növények légszáraz tömege

A szárítást követően mértem a betakarított növényi részek tömegét. Ezek alapján 1-tényezős és 2-tényezős variancia-analíziseket végeztem a kezelések valószínűségi mutatóinak meghatározására, illetve a két kísérlet összehasonlítására (1,2,3 ábrák)



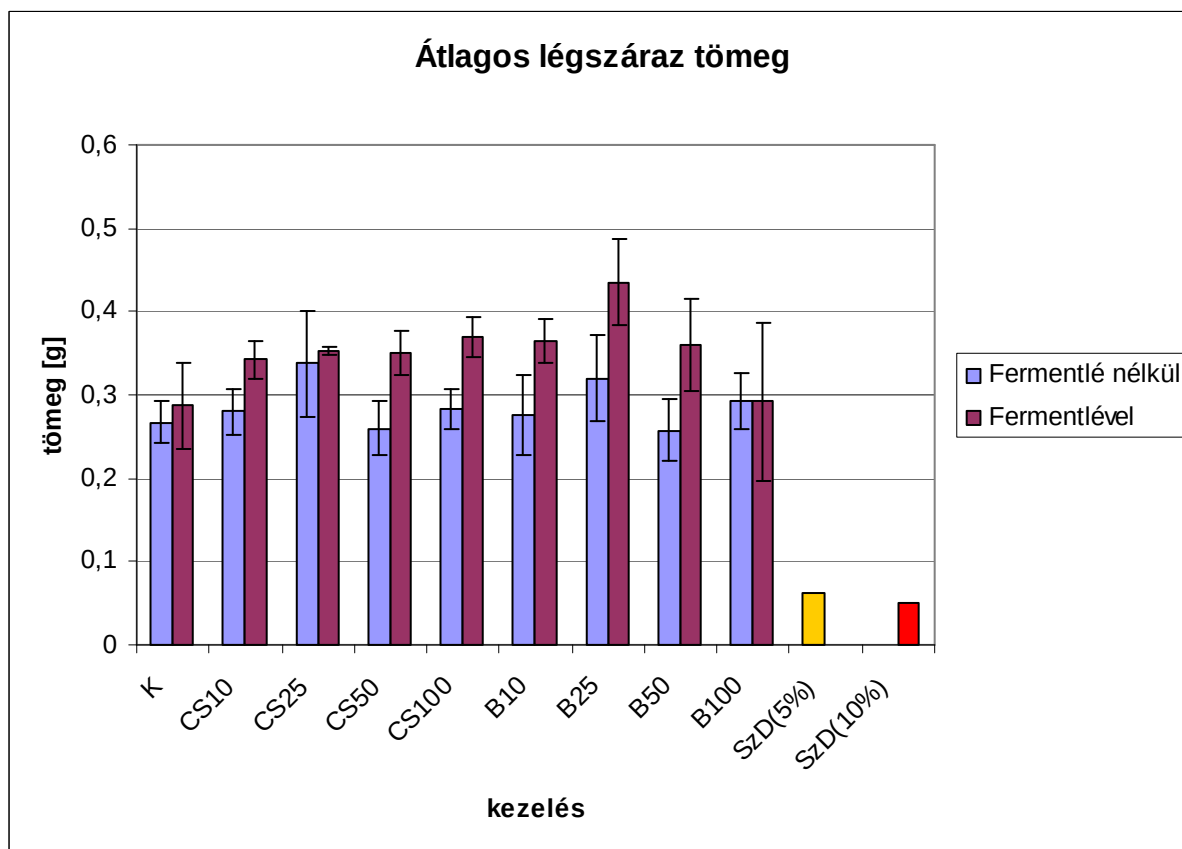
1.ábra: Az átlagos légszáraz tömeg fermentlé nélkül

10%-os hibavalószínűség mellett állítható, hogy a kezeléseknek volt hatása (F-arány= 1,67). A variancia-analízis eredményei alapján a kezelések között nem volt szignifikáns különbség. (SzD(5%)= 0,061).



2.ábra: Az átlagos légszáraz tömeg fermentlével

A kezelésekről 1%-os hibavalószínűség mellett állítható, hogy volt hatásuk (F -arány= 3,48). A variancia-analízis alapján egyedül a 10%-os bioszenes (B100) kezelés esetében volt kimutatható szignifikáns eltérés a Kontroll, az 1%-os csontszenes (CS10), a 2,5%-os csontszenes (CS25), a 10%-os csontszenes (CS100) és az 1%-os bioszenes (B10) kezelésekhöz viszonyítva. ($SzD(5\%) = 0,068$).

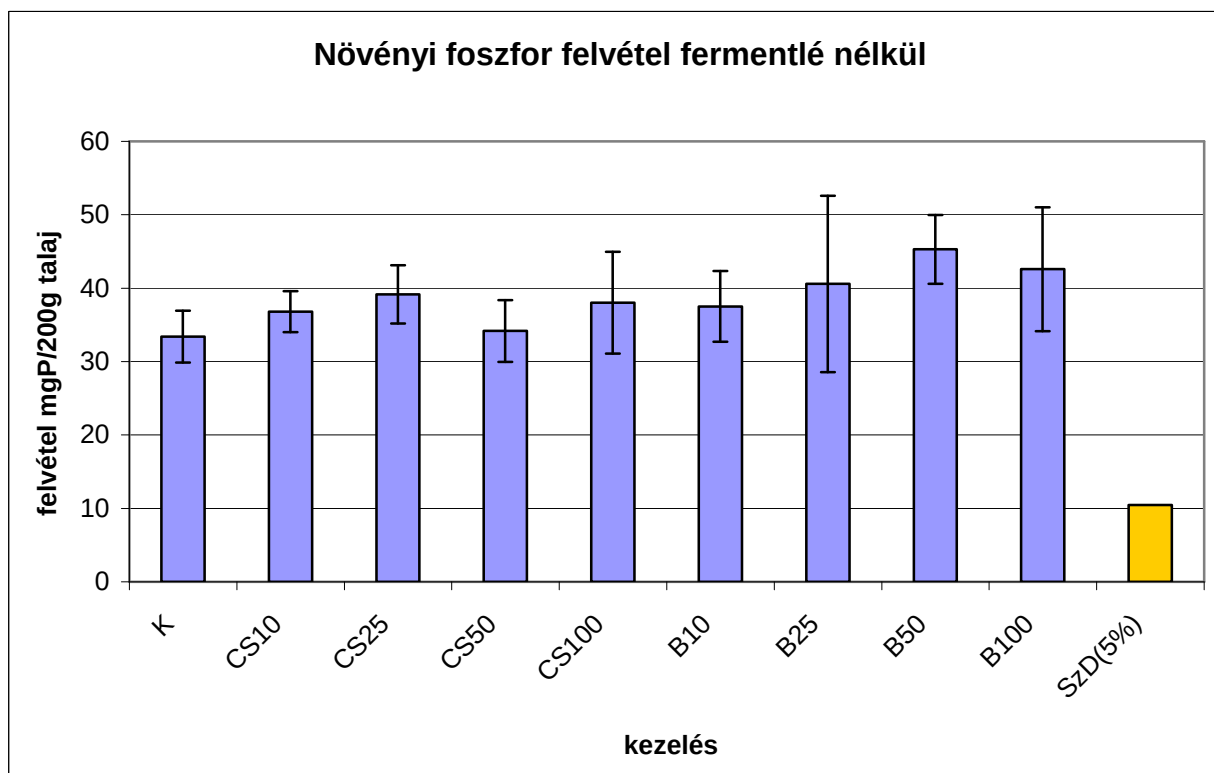


3.ábra: Átlagos légszáraz tömeg összehasonlító ábra

A grafikonról leolvasható, hogy a fermentleves kezelés hatására nőtt a tesztnövények száraz tömege. Ezt a fermentlé magas tápanyagtartalma okozza és 5%-os hibavalószínűség mellett igazolható is, hogy jelentős eltérés van a két kísérlet között. ($SzD(5\%) = 0,061$ és $SzD(10\%) = 0,051$).

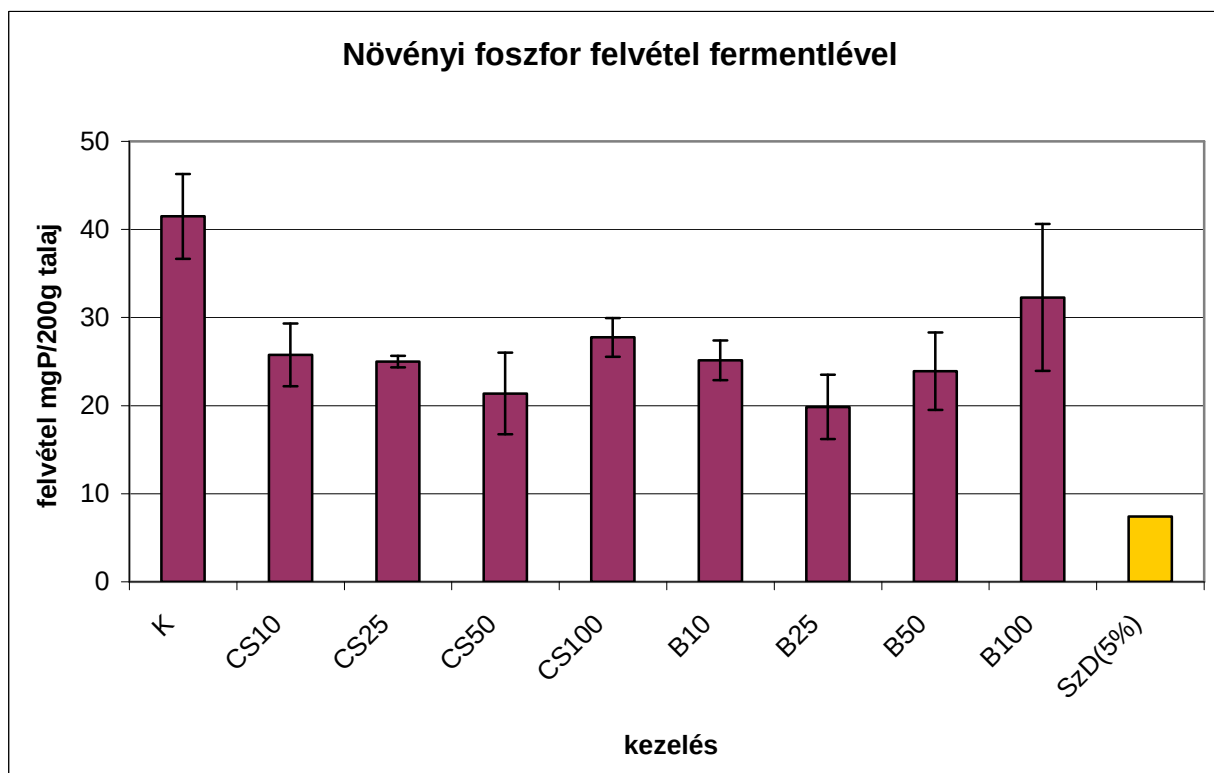
4.2 Növényminták foszfortartalma és a növényi foszfor felvétel

A légszáraz növényminták egy részéből kénsavas roncsolással összes P és összes K tartalom meghatározásra került sor. A kapott eredmények alapján a száraz tömeghez hasonlóan 1-, illetve 2-tényezős variancia-analíziseket végeztem a foszfortartalomra és a növényi foszforfelvételre. (4,5,6,7 ábrák)



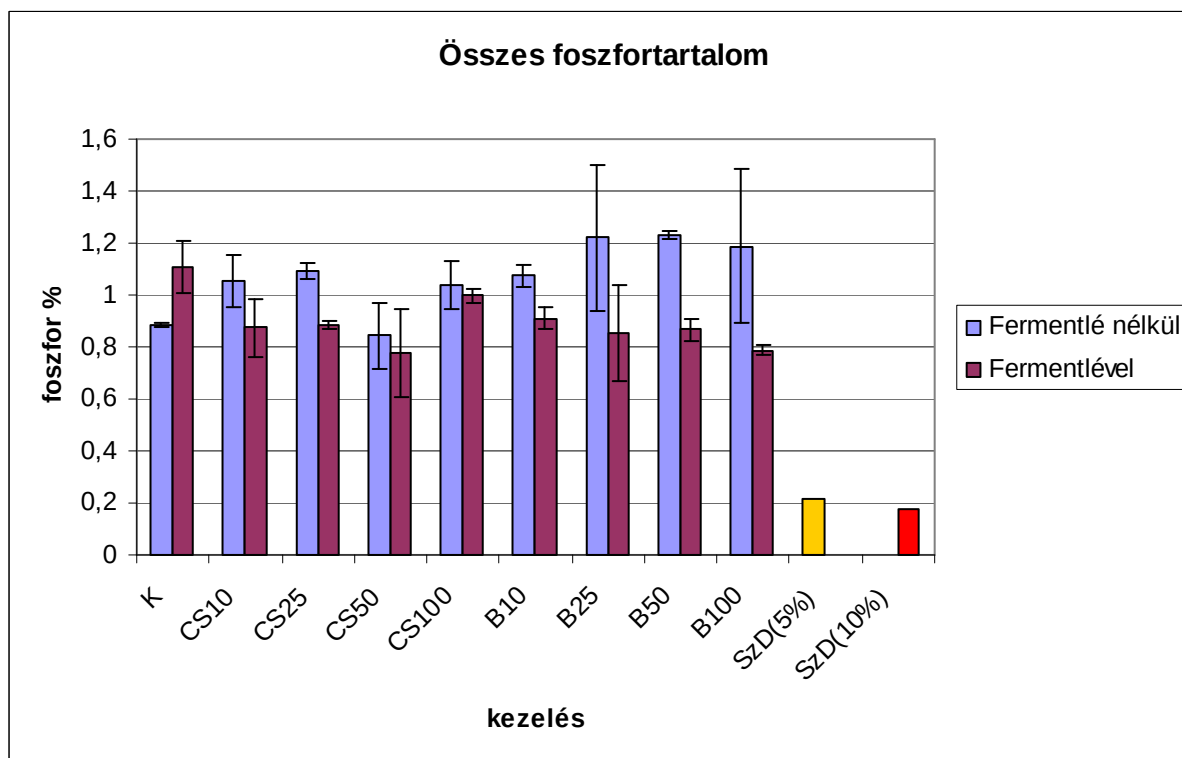
4. ábra: A növényi foszfor felvétel fermentlé nélkül

A növényi felvételre végzett variancia-analízis alapján csak a Kontroll és az 5%-os bioszenes (B50) kezelés között volt megállapítható szignifikáns differencia. ($SzD(5\%) = 10,462$). A kezeléseknek 10%-os hibavalószínűség mellett volt hatása ($F\text{-arány} = 1,19$).



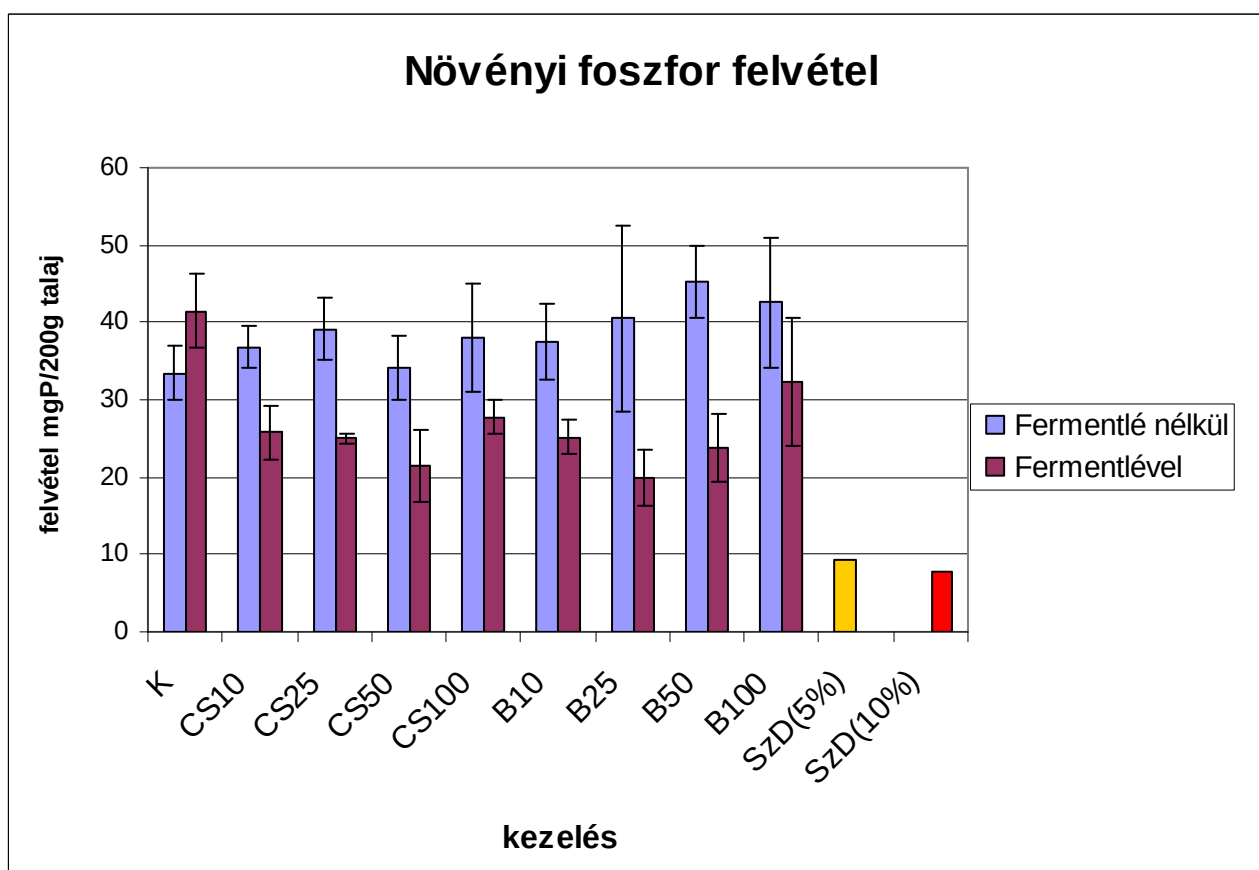
5. ábra: A növényi foszfor felvétel fermentlével

A variancia-analízis alapján a Kontroll és az összes kezelés között igazolható volt a szignifikáns differencia. A 10%-os bioszenes (B100) és az 5%-os csontszenes (CS50), 2,5%-os bioszenes (B25), 5%-os bioszenes (B50) kezelés között is jelentős eltérés mutatkozott. (SzD(5%)= 7,400). Láthatóan a Kontroll kezelés hasznosította legjobban a foszfort. Ennek oka, hogy a Kontroll nem tartalmazott szenet, ami adszorbeálhatta volna a fermentléből származó többlet foszfort. A kezeléseknek 0,1%-os hibavalószínűség mellett volt hatása (F-arány= 6,96).



6.ábra: Összes foszfortartalom összehasonlító ábra

A grafikonról látszik, hogy a fermentlé nélküli kísérletben többnyire magasabb összes foszfortartalmat mértünk, azonban se 5%-os, se 10%-os hibaválósínűség mellett nem állítható, hogy jelentős eltérés lenne. ($SzD(5\%) = 0,212$ és $SzD(10\%) = 0,176$). Ezek a foszfor %-ban adódó különbségek azonban a learatott növénytömegekből erednek, így a növényi felvételre átszámolt értékekből pontosabb képet alkothatunk.

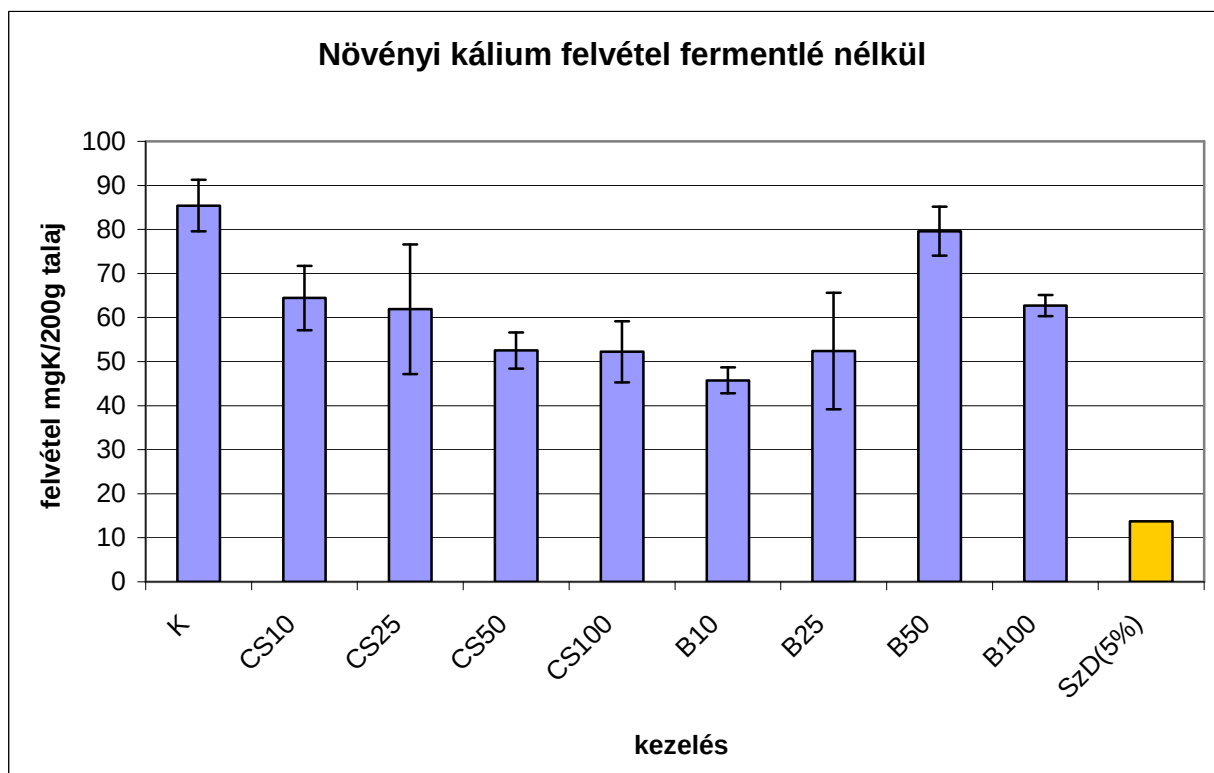


7.ábra: Növényi foszfor felvétel összehasonlító ábra

A növényi felvételre végzett összehasonlító variancia-analízis alapján már 5%-os hibavalószínűség mellett is megállapítható szignifikáns differencia. (SzD(5%)= 9,231 és SzD(10%)= 7,680) Jól látható módon a fermentlé hozzáadása nem segítette elő a növények foszfor hasznosítását.

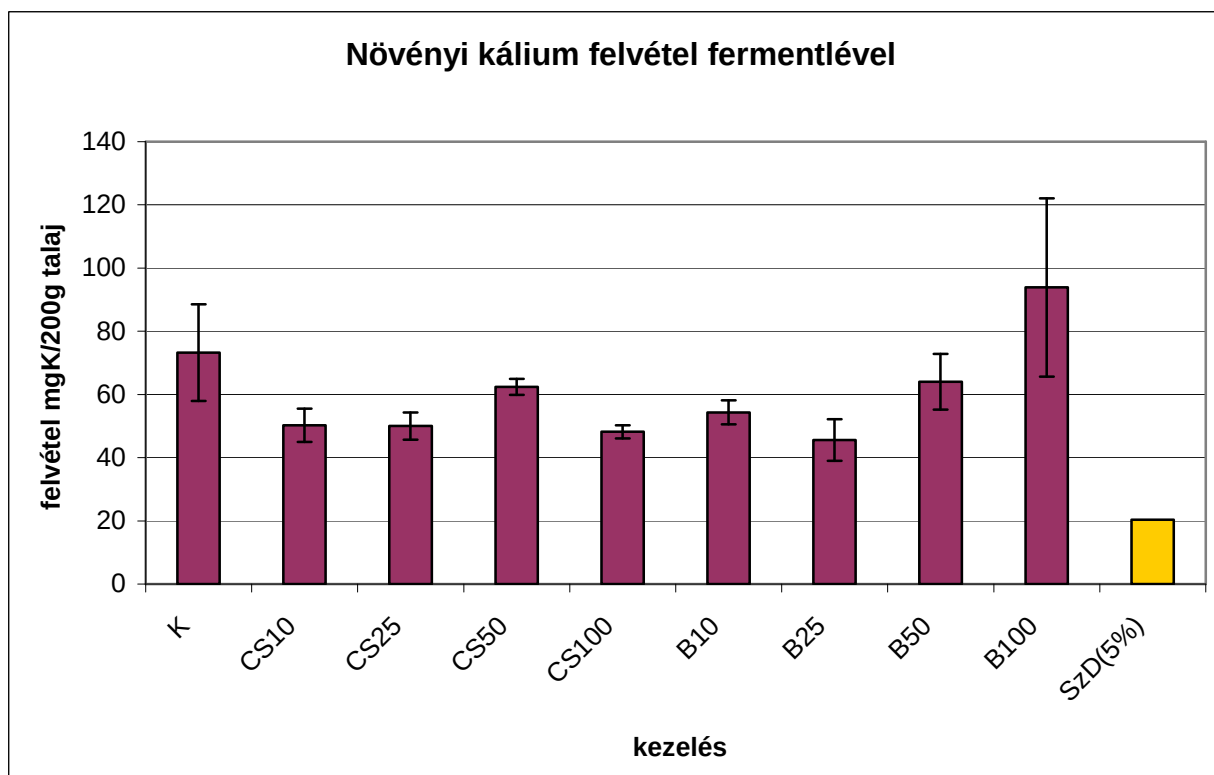
4.3 Növényminták káliumtartalma és a növényi kálium felvétel

A légszáraz növényminták egy részéből kénsavas roncsolással összes P és összes K tartalom meghatározásra került sor. A kapott eredmények alapján a száraz tömeghez hasonlóan 1-, illetve 2-tényezős variancia-analíziseket végeztem a káliumtartalomra és a növényi kálium felvételre. (8,9,10,11 ábrák)



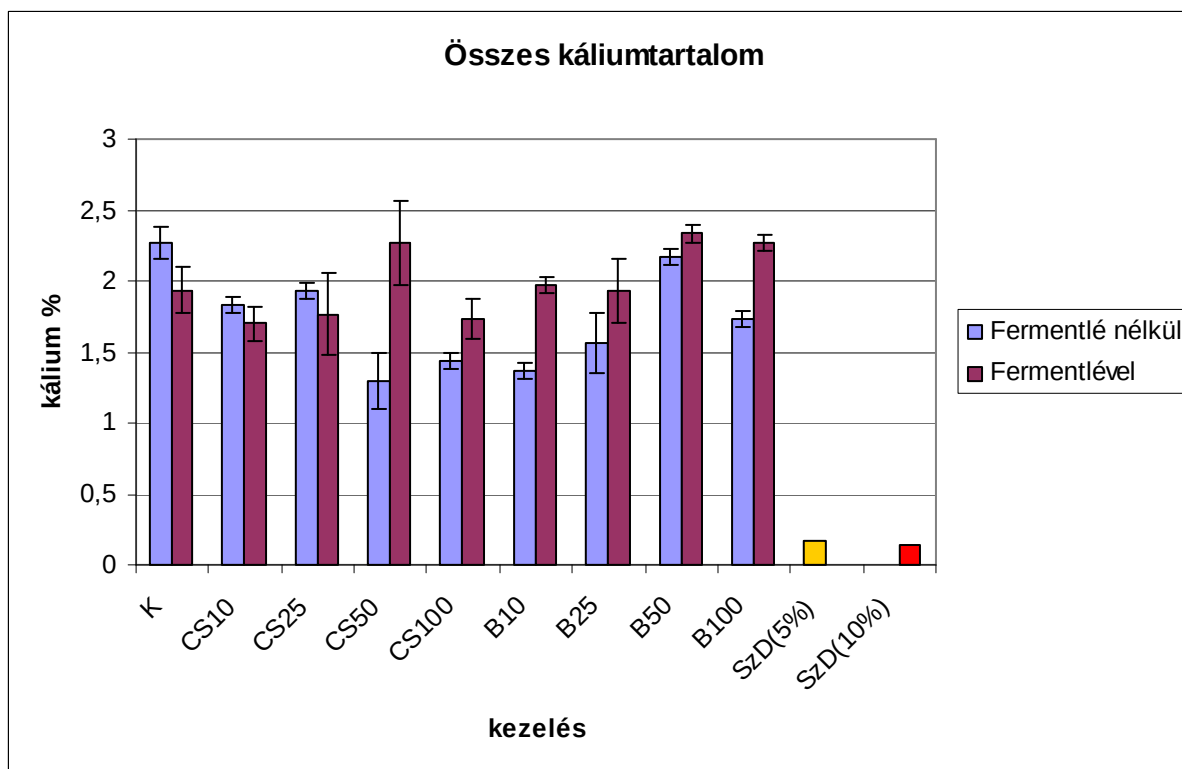
8. ábra: A növényi kálium felvétel fermentlé nélkül

A növényi felvételre végzett variancia-analízis alapján a Kontroll és az 5%-os bioszenes (B50) kezelés kivételével minden esetben megállapítható volt szignifikáns differencia. Az 1%-os bioszenes (B10) és az 1%-os csontszenes (CS10), 2,5%-os csontszenes (CS25) kezelések között volt még megállapítható jelentős eltérés, illetve az 5%-os bioszenes (B50) és az összes többi kezelés között is. (SzD(5%)= 14,466). A kezelésekről 0,1%-os hibavalószínűséggel állítható, hogy volt hatásuk. (F-arány= 7,55)



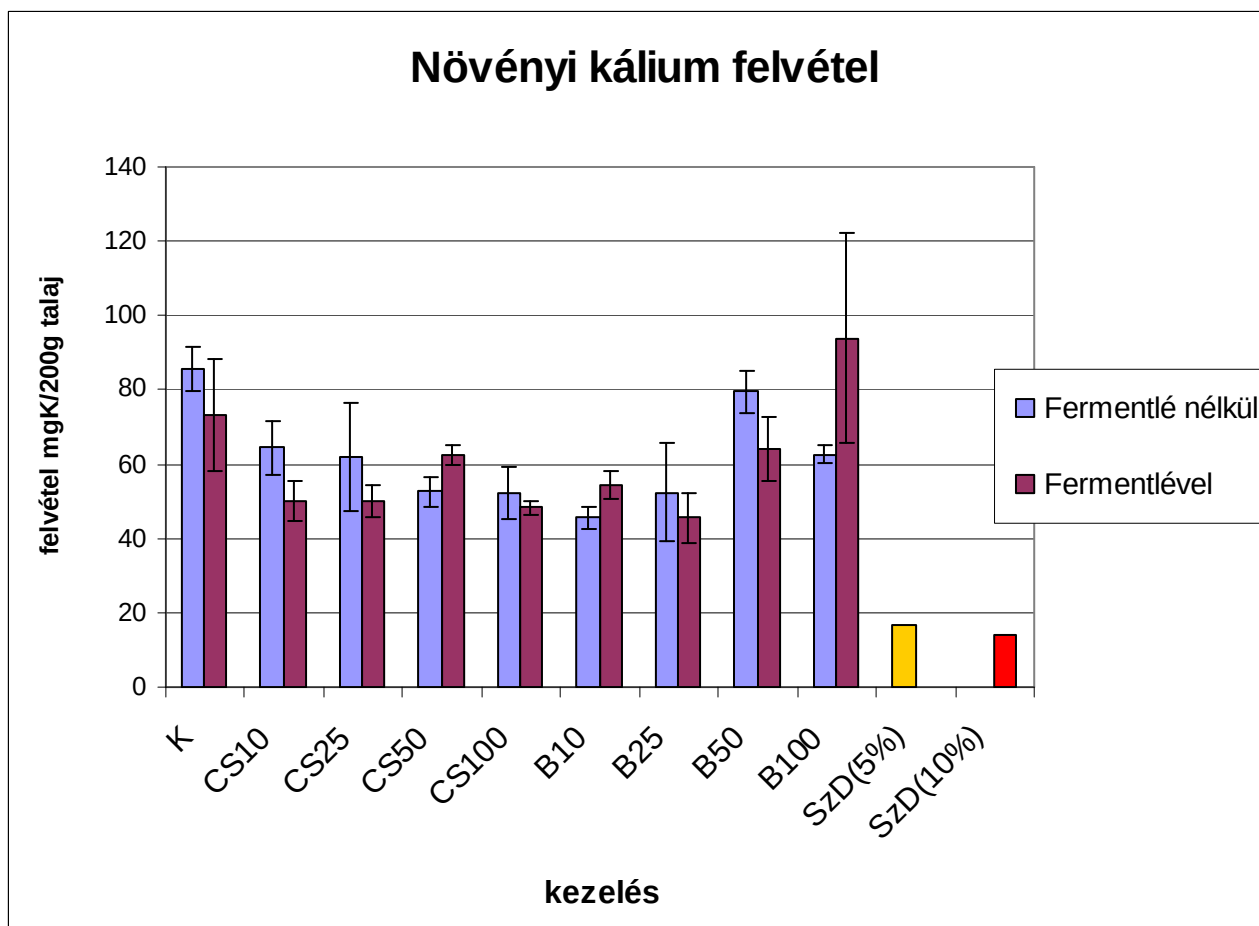
9. ábra: A növényi kálium felvétel fermentlével

A variancia-analízis alapján a Kontroll esetében csak az 1%-os csontszén (CS10), 2,5%-os csontszén (CS25), 10%-os csontszén (CS100), 2,5%-os bioszén (B25) és 10%-os bioszén (B100) kezelések esetében volt igazolható szignifikáns eltérés, míg a 10%-os bioszén (B100) esetében az összes többi kezeléshez képest igazolható volt jelentős eltérés. (SzD(5%)= 20,383). A kezeléseknek 1%-os hibavalószínűséggel volt hatásuk (F-arány= 5,19).



10.ábra: Összes káliumtartalom összehasonlító ábra

A grafikonról egyértelműen nem olvasható le különbség, azonban a variancia-analízis alapján 5%-os hibavalószínűség mellett állítható, hogy a két kísérlet között szignifikáns eltérés van. (SzD(5%)= 0,167 és SzD(10%)= 0,139). A kálium %-ot a foszforhoz hasonlóan átszámoltam a növényi felvételre, hogy pontosabb képet kaphassak.

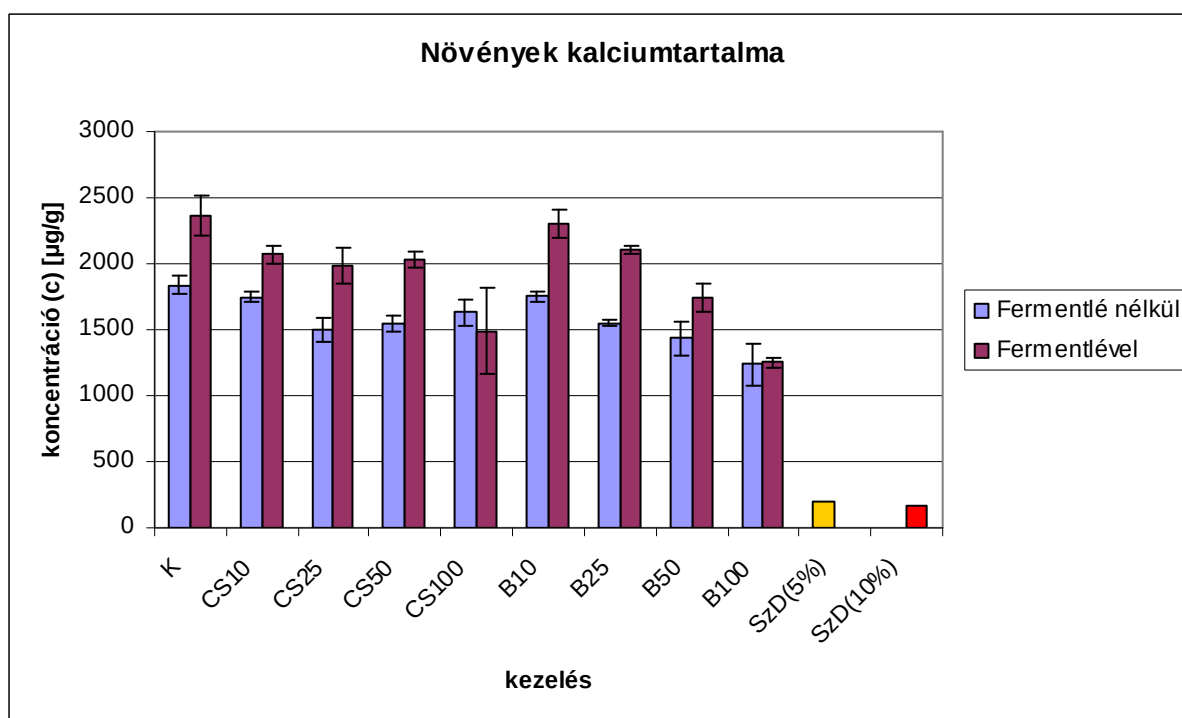


11.ábra: Növényi kálium felvétel összehasonlító ábra

A növényi felvételre végzett összehasonlító variancia-analízis alapján az összes kálium tartalommal ellentétben nem állapítható meg sem 5%-os, sem 10%-os hibavalószínűség mellett szignifikáns differencia. (SzD(5%)= 16,661 és SzD(10%)= 13,862)

4.4 Növényminták kalciumtartalma

A légszáraz növényminták egy részéből sósavas hidrolízissel mikroelem meghatározást végeztem. A kapott eredmények alapján 1-, illetve 2-tényezős variancia-analíziseket végeztem a kalciumtartalomra. (12 ábra) Az 1-tényezős variancia-analízisek a hely szűke miatt itt nem szerepelnek.

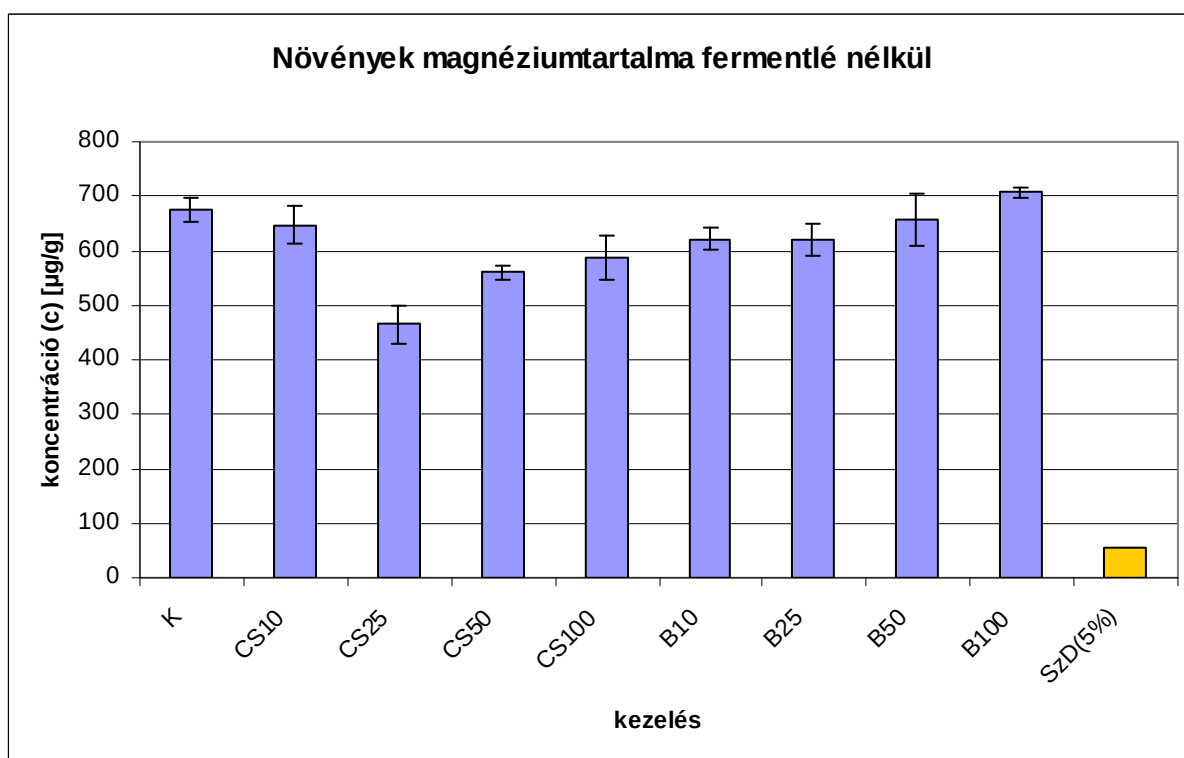


12.ábra: Növények kalciumtartalma összehasonlító ábra

A kalcium tartalomra végzett összehasonlító variancia-analízis alapján 5%-os hibavalószínűség mellett állítható, hogy szignifikáns differencia van a kísérletek között. (SzD(5%)= 201,770 és SzD(10%)= 167,882) A fermentlé hozzáadása egyértelműen növelte a kalcium felvételt. Ezt egyedül a 10%-os fermentleves (CS100) kezelés esetében nem sikerült bizonyítani, de itt a szórás magas értéke miatt mérési hiba feltételezhető. A grafikonról leolvasható, hogy amíg a csontszén növekvő koncentrációi alig befolyásolták a kalcium felvételt, addig a bioszén koncentrációjának növekedésével a felvétel is fokozatosan csökkent, amelyet nagy koncentráció esetén a fermentlé kedvező hatása sem tudott mérsékelni.

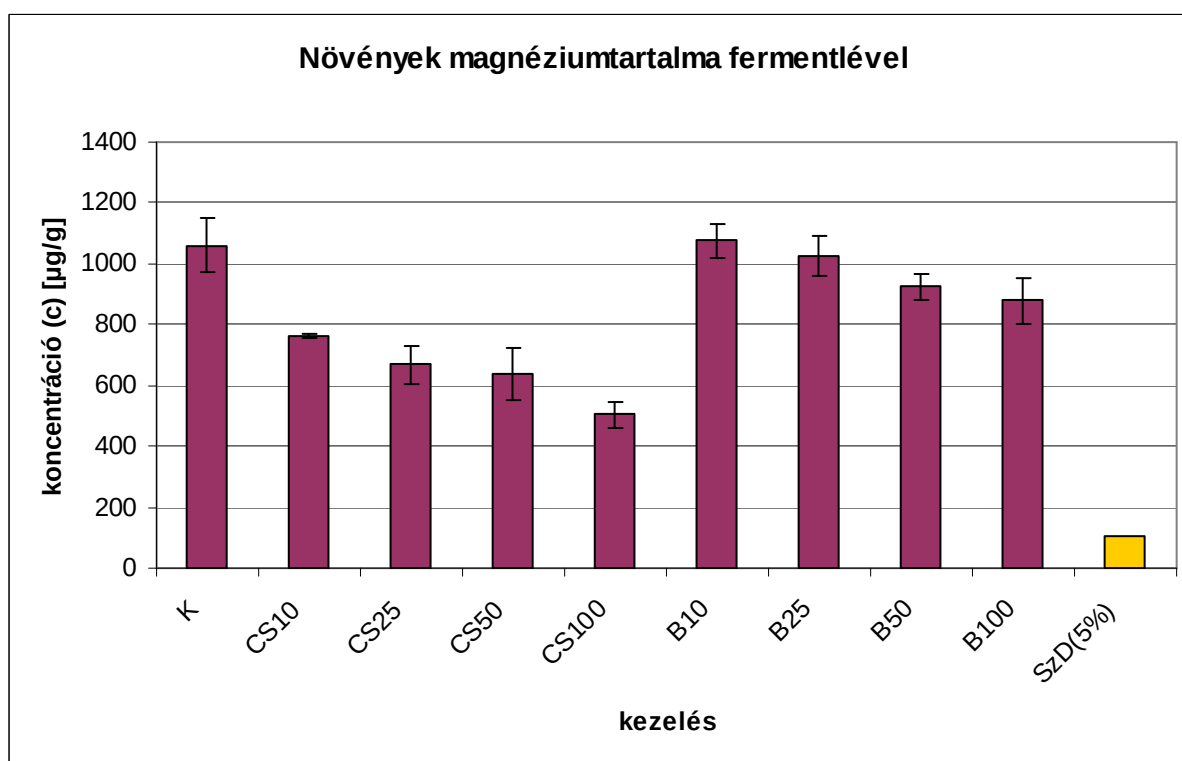
4.5 Növényminták magnéziumtartalma

A légszáraz növényminták egy részéből sósavas hidrolízissel mikroelem meghatározást végeztem. A kapott eredmények alapján 1-, illetve 2-tényezős variancia-analíziseket végeztem a magnéziumtartalomra. (13,14,15 ábrák)



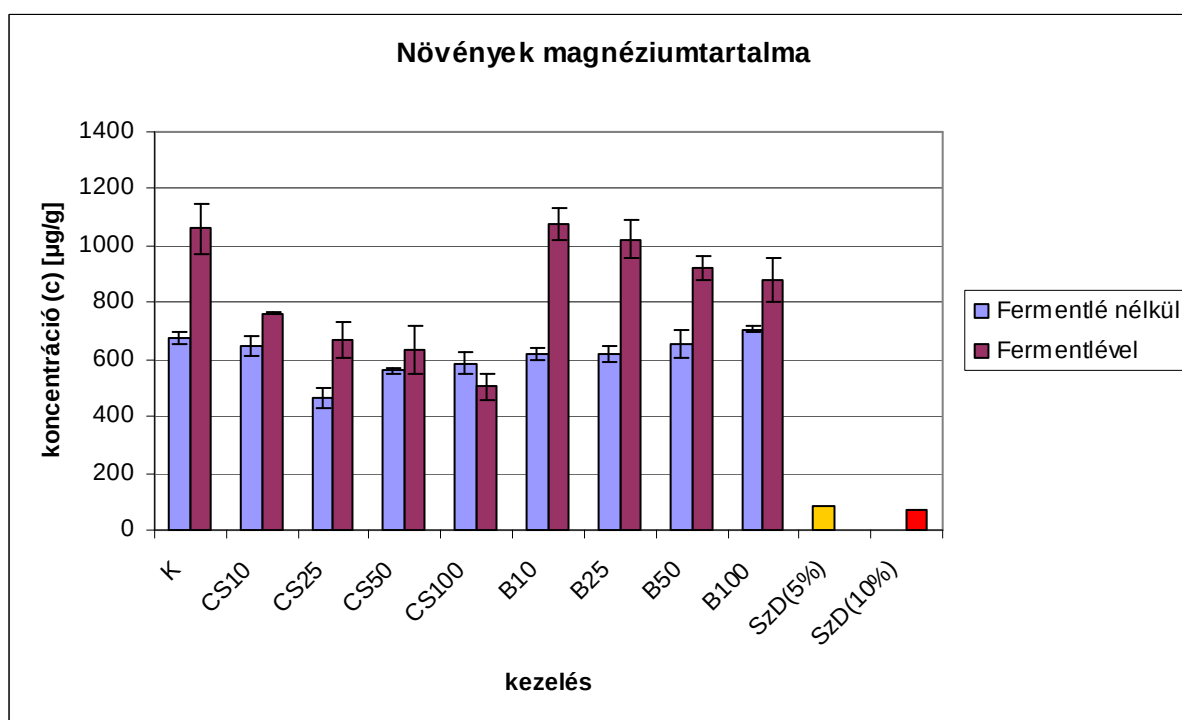
13.ábra: Növényminták magnéziumtartalma fermentlé nélkül

Az elvégzett variancia-analízis alapján a Kontroll esetében csak a 2,5%-os csontszemes (CS25), 5%-os csontszemes (CS50) és 10%-os csontszemes (CS100) kezelések esetében volt szignifikáns eltérés. A különböző kezelések között több esetben volt jelentős eltérés, azonban bizonyítható tendenciát egyik esetben sem lehetett felfedezni. (SzD(5%)= 56,193) A kezelésekről azonban 0,1%-os hibavalószínűség mellett állítható, hogy volt hatásuk. (F-arány= 14,66)



14.ábra: Növényminták magnéziumtartalma fermentlével

Már a grafikon alapján látszik, hogy a fermentlével végzett kísérlet a fermentlé nélkülihez képest jelentősen eltér. A variancia-analízis alapján a Kontrollhoz képest csak az 1%-os bioszenes (B10) és 2,5%-os bioszenes (B25) kezelések esetében nem volt igazolható szignifikáns differencia. A többi kezelés esetében is majdnem mindenhol igazolható volt jelentős eltérés. Kivételek a 2,5%-os csontszenes (CS25) és az 1%-os csontszenes (CS10), illetve 5%-os csontszenes (CS50) kezelések és ugyanígy a 2,5%-os bioszenes (B25) kezeléshez képest az 1%-os bioszenes (B10) és 5%-os bioszenes (B50) kezelések. (SzD(5%)= 105,354) A kezeléseknek itt is 0,1%-os hibavalószínűséggel volt hatásuk. A magnézium felvételt láthatóan a magasabb szén koncentráció gátolta, amely az adszorpcióra vezethető vissza.

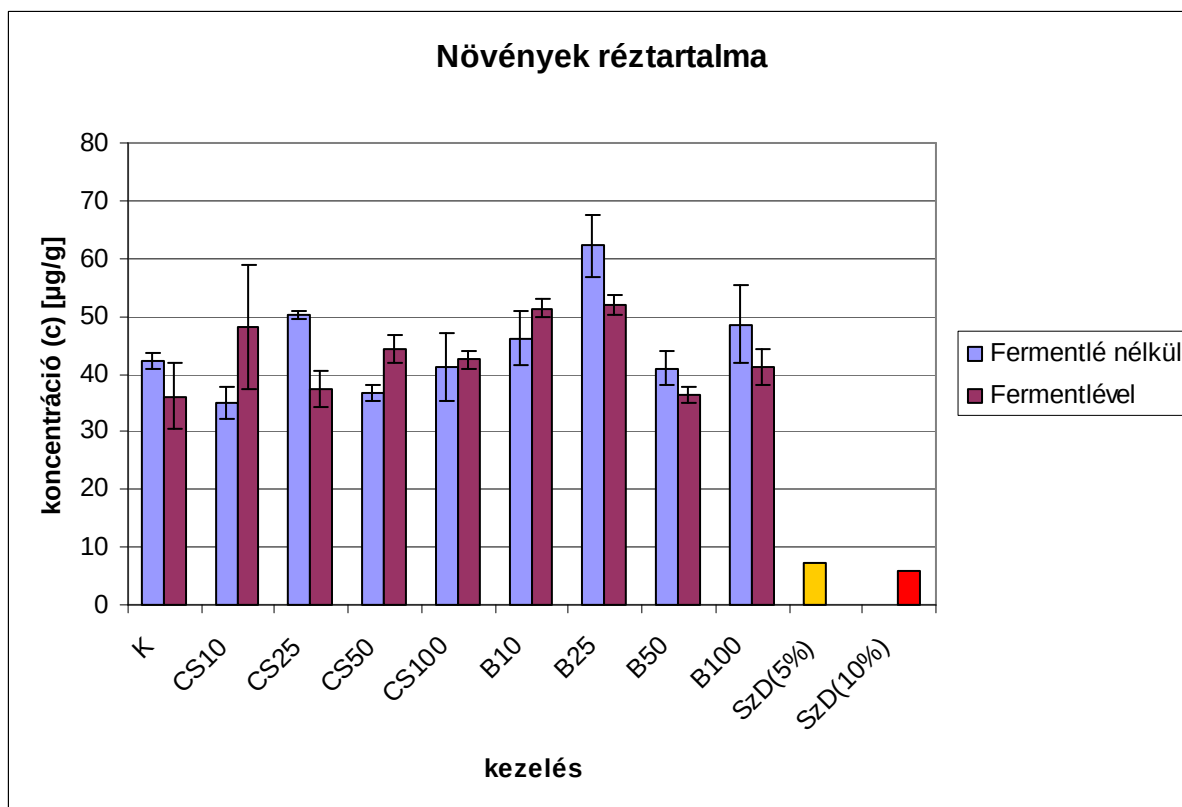


15.ábra: Növények magnéziumtartalma összehasonlító ábra

A grafikon alapján is jól látható a két kísérlet közötti eltérés, elsősorban a bioszenes kezelések esetében. Az elvégzett variancia-analízis is 5%-os hibavalószínűség mellett igazolta a kísérletek közti eltérést. A grafikonon látszik, hogy a fermentleves kísérlet esetében a CS100-as kezelés kivételével mindenhol magasabb volt a magnézium felvétel. (SzD(5%)= 81,899 és SzD(10%)= 68,144)

4.6 Növényminták réztartalma

A légszáraz növényminták egy részéből sósavas hidrolízissel mikroelem meghatározást végeztem. A kapott eredmények alapján 1-illetve 2-tényezős variancia-analíziseket végeztem a réztartalomra. (16 ábra) Az 1-tényezős variancia-analízisek a hely szűke miatt itt nem szerepelnek.

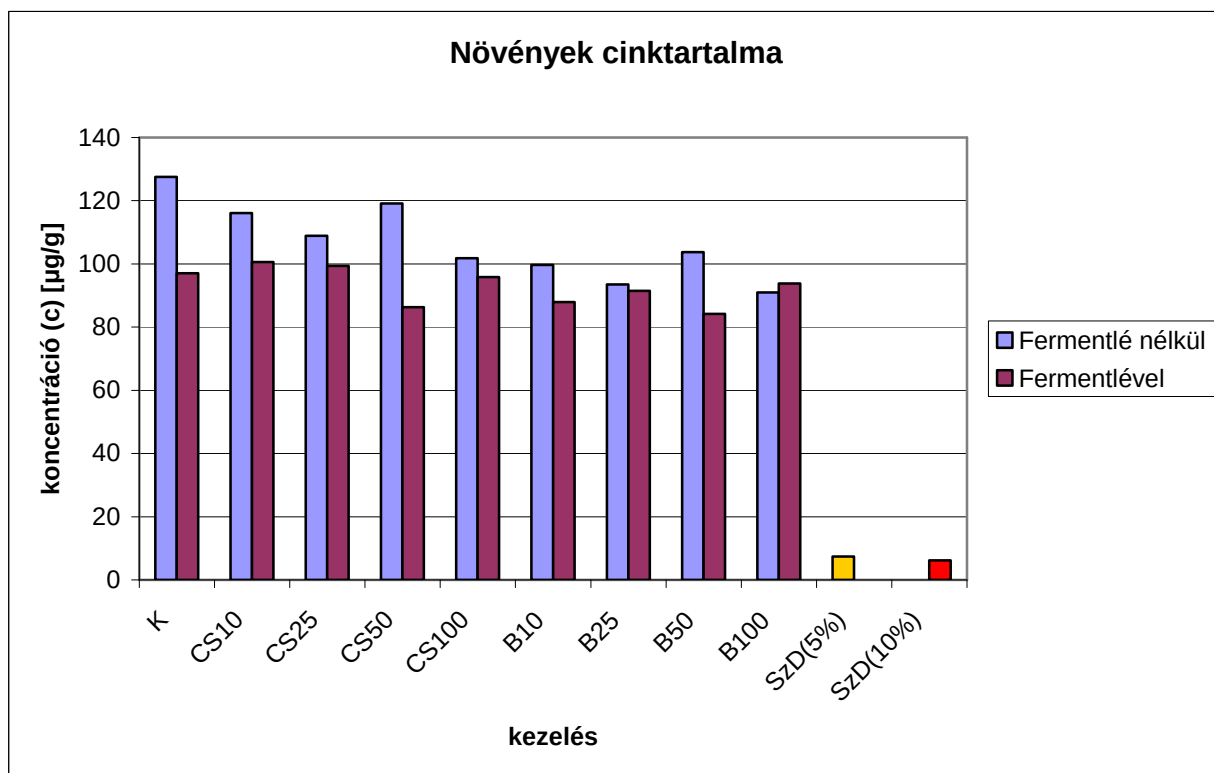


16.ábra: Növények réztartalma összehasonlító ábra

Az elvégzett variancia-analízis alapján sem 5%-os, sem 10%-os hibavalószínűség mellett nem volt igazolható a kísérletek között eltérés. (SzD(5%)= 7,243 és SzD(10%)= 6,027)

4.7 Növényminták cinktartalma

A légszáraz növényminták egy részéből sósavas hidrolízissel mikroelem meghatározást végeztem. A kapott eredmények alapján 1-illetve 2-tényezős variancia-analíziseket végeztem a cinktartalomra. (17 ábra) Az 1-tényezős variancia-analízisek a hely szűke miatt itt nem szerepelnek.

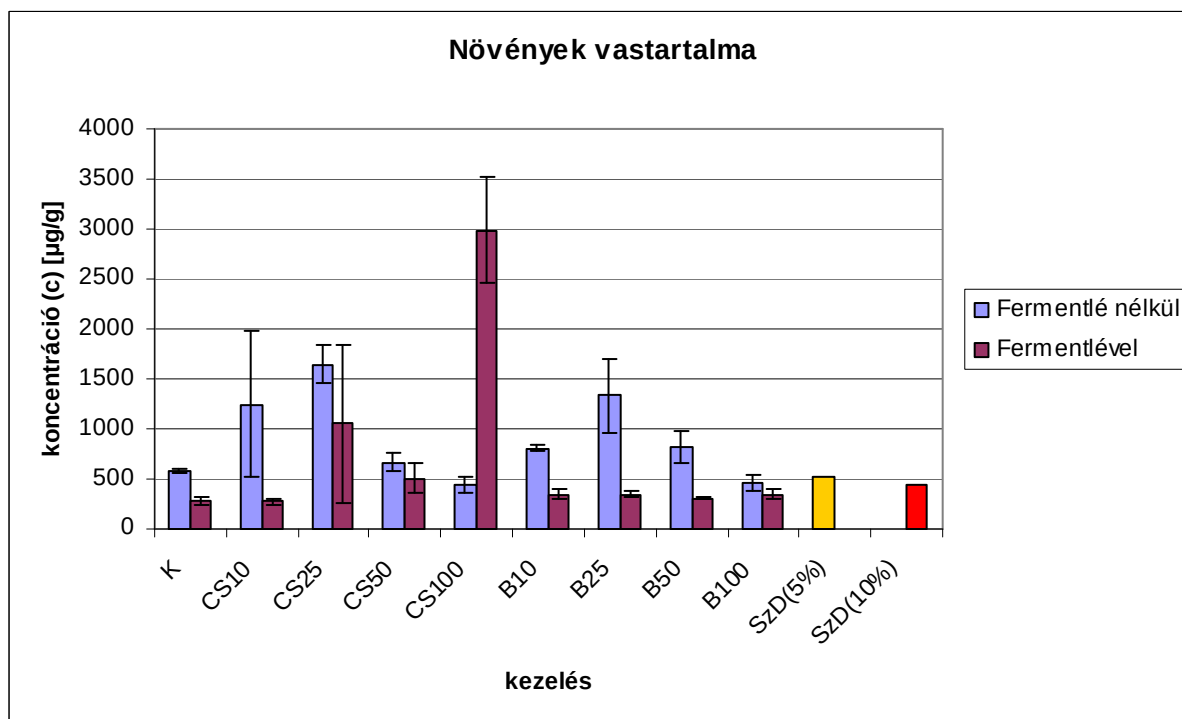


17.ábra: Növények cinktartalma összehasonlító ábra

Az elvégzett variancia-analízis alapján 5%-os hibavalószínűség mellett volt igazolható a kísérletek közötti eltérés. ($SzD(5\%) = 7,410$ és $SzD(10\%) = 6,166$) A fermentleves kísérletben a növények kevesebb cinket vettek fel. A cink és a foszfor irodalmi adatok alapján ion-antagonista kapcsolatban áll egymással és feltételezhetően a foszfor túlsúlya a cink felvételét lassította.

4.8 Növényminták vastartalma

A légszáraz növényminták egy részéből sósavas hidrolízissel mikroelem meghatározást végeztem. A kapott eredmények alapján 1-illetve 2-tényezős variancia-analíziseket végeztem a vastartalomra. (18 ábra) Az 1-tényezős variancia-analízisek a hely szűke miatt itt nem szerepelnek.

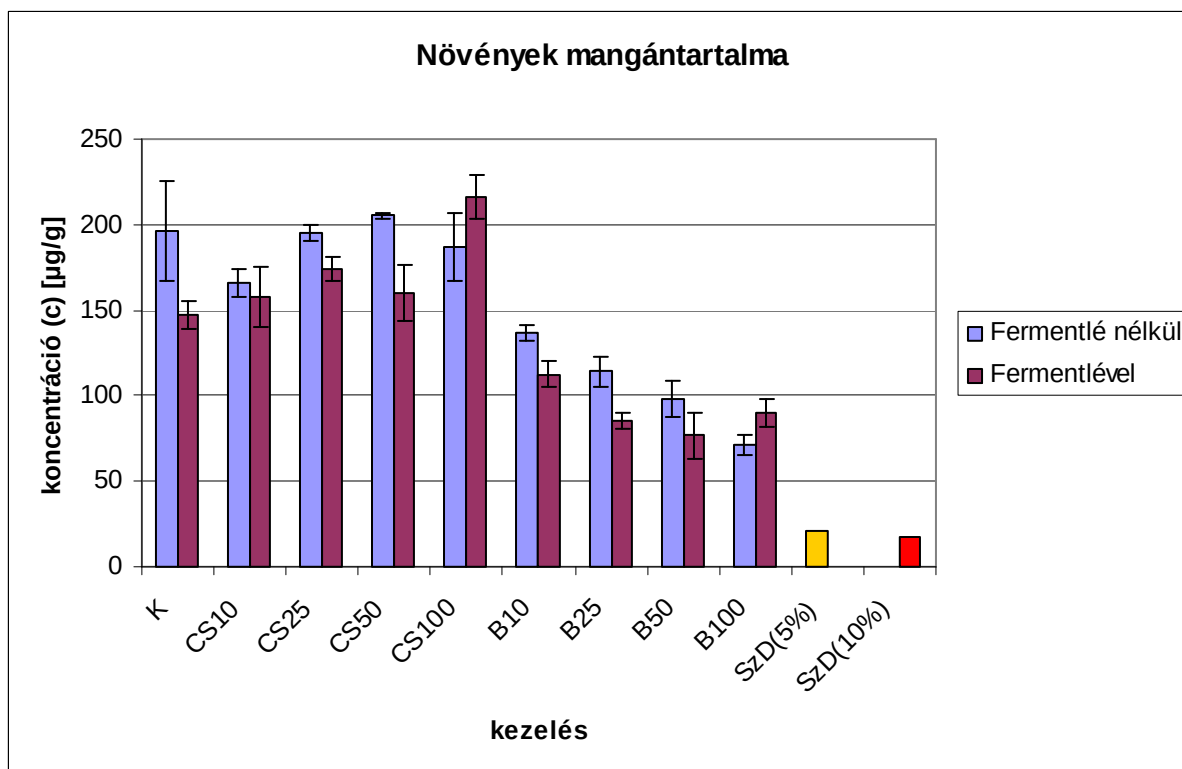


18.ábra: Növények vastartalma összehasonlító ábra

A fermentlé nélküli kísérlet esetén látható tendencia a fermentlével végzett kísérlet alapján nem volt kimutatható. A fermentlével kezelt 10%-os csontszemes (CS100) kezelés kiugró értéke pedig mérési hibára vezethető vissza. A grafikonról látható, hogy a fermentlé hatására kevesebb vasat vettek föl a növények, ez feltételezhetően a foszfor és a vas ion-antagonista kapcsolatára vezethető vissza. A variancia-analízis alapján azonban a kiugró értékkel együtt nem volt igazolható sem 5%-os, sem 10%-os hibavalószínűséggel szignifikáns eltérés. (SzD(5%)= 521,881 és SzD(10%)= 434,230)

4.9 Növényminták mangántartalma

A légszáraz növényminták egy részéből sósavas hidrolízissel mikroelem meghatározást végeztem. A kapott eredmények alapján 1-illetve 2-tényezős variancia-analíziseket végeztem a mangántartalomra. (19 ábra) Az 1-tényezős variancia-analízisek a hely szűke miatt itt nem szerepelnek.

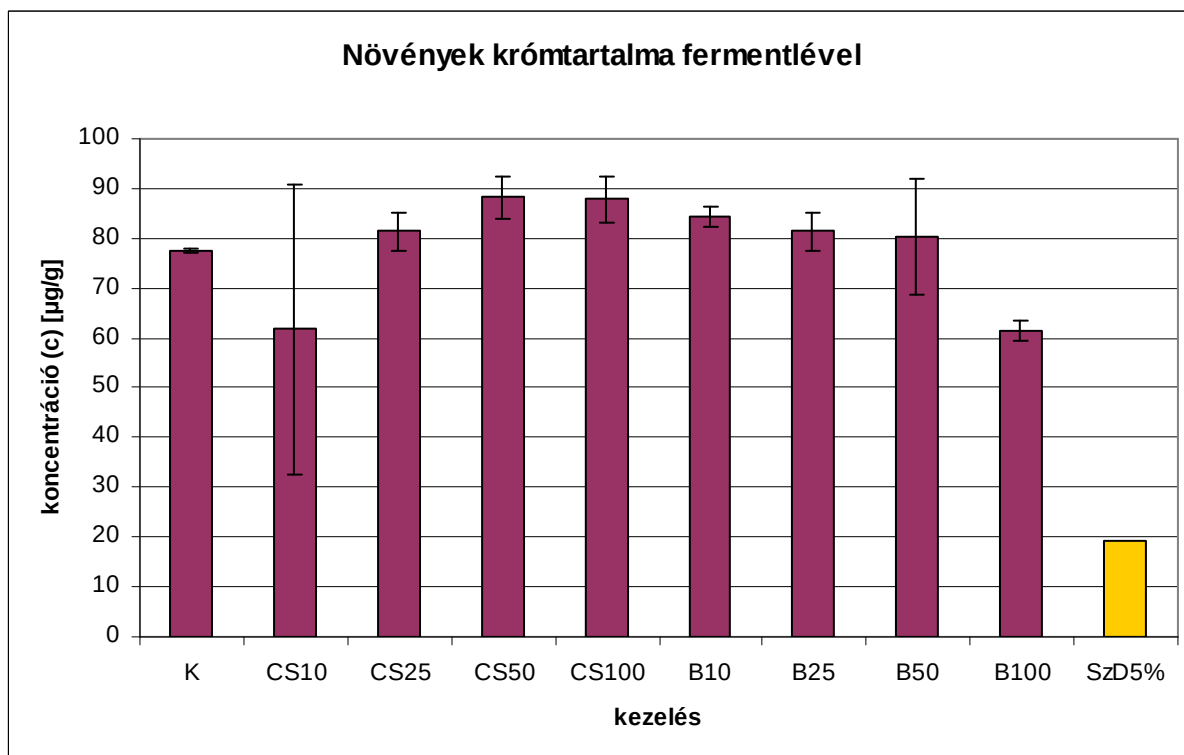


19.ábra: Növények mangántartalma összehasonlító ábra

A grafikonon jól látszik, hogy mind a fermentlé nélküli, mind a fermentleves kísérlet esetében nagyon hasonló eredményeket kaptunk. A variancia-analízis alapján sem volt igazolható sem 5%-os, sem 10%-os hibavalószínűséggel szignifikáns eltérés. ($SzD(5\%) = 20,990$ és $SzD(10\%) = 17,465$) Az azonban jól látszik, hogy a bioszenes kezelés hatására egyértelműen csökkent a növények mangán felvétele és ez a szénen történő adszorbeálódásra vezethető vissza.

4.10 Növényminták krómtartalma

A légszáraz növényminták egy részéből sósavas hidrolízissel mikroelem meghatározást végeztem. A króm esetében azonban a fermentlé nélküli kísérlet mintáiban kimutatási határérték alatt volt a koncentráció. Így csak a fermentleves kísérlet esetében végeztem variancia-analízist. (20 ábra)



20.ábra: Növényminták krómtartalma fermentlével

A fermentlé nélküli kísérlet esetében a krómtartalom kimutatási határérték alatt maradt, így abból kiértékelést sem végeztem. A fermentleves kezelés variancia-analízise alapján a Kontrollhoz képest nem volt sehol igazolható szignifikáns eltérés. ($SzD(5\%) = 19,282$) A kezeléseknek pedig 10%-os hibavalószínűség mellett volt hatása. ($F\text{-arány} = 2,45$)

5. Összefoglalás

A dolgozat célja a pirolízis szilárd végtermék (mint a bioszén és a csontszén), továbbá a biogáz gyártás során keletkező fermentlé rövid bemutatása, az együttes felhasználás lehetőségeinek ismertetése és tenyészedényes modellkísérletek végzése, azok kiértékelése volt. Mindkét kísérlet során kilenc kezelést végeztünk négy ismétlésben. Négy kezeléshez csontszenet, míg négy kezeléshez bioszenet használtunk.

A learatott növényekből összes foszfor-, illetve összes káliumtartalom, továbbá mikroelemtartalom került meghatározásra. Az adatok matematikai, statisztikai értékelését egytényezős variancia-analízissel, míg a két kísérlet összehasonlítását kéttényezős variancia-analízissel végeztem. Az SzD értéke $P=5\%$ -os, továbbá a kéttényezős variancia-analízisek esetében $P=10\%$ -os szignifikancia szinten lett megadva.

Eredményekként megállapítottam, hogy a fermentleves kezelés hatására nőtt a teszt növények száraz tömege, amelynek oka a fermentlé magas tápanyagtartalma. A fermentlé hozzáadása azonban nem segítette elő a növények foszfor hasznosítását, azonban egyértelműen növelte a kalcium felvételt. Míg a csontszén növekvő koncentrációi alig befolyásolták a kalcium felvételt, addig a bioszén koncentrációjának növekedésével a felvétel fokozatosan csökkent, amelyet nagy koncentráció esetén a fermentlé kedvező hatása sem tudott mérsékelni. Kálium felvétel esetében sem a szénkoncentráció, sem a fermentlé hozzáadása nem mutatott hatást. A magnézium felvételt a magasabb széntartalom gátolta, amely az adszorpcióra vezethető vissza, azonban a fermentleves kísérlet esetében magasabb volt a magnézium felvétel értéke. Cink esetében a fermentleves kísérletben a növények kevesebbet vettek fel. A cink és a foszfor irodalmi adatok alapján ion-antagonista kapcsolatban áll egymással és feltételezhetően a foszfor túlsúlya a cink felvételét lassította. Vas felvétel esetében a fermentlé hatására kevesebbet vettek fel a növények, ez feltételezhetően szintén a foszfor és a vas ion-antagonista kapcsolatára vezethető vissza. A mangánfelvétel a bioszenes kezelés hatására egyértelműen csökkent, ez a szénen történő adszorbeálódásra vezethető vissza. A réz felvételnél nem történt változás a fermentlé hozzáadását követően sem. A króm felvétel a fermentlé nélküli kísérlet esetében kimutatási határérték alatt maradt.

Végeredményben a pirolízis szilárd végtermékek és a fermentlé együttes alkalmazásának pozitív vagy negatív hatása nem dönthető el egyértelműen, így további kísérletekre van szükség.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom Dr. FÜLEKY GYÖRGYNEK, amiért lehetővé tette, hogy a Tanszéken írjam dolgozatomat ebben a témában.

Szeretném megköszönni GULYÁS MIKLÓS PhD hallgatónak lelkiismeretes segítségét a dolgozat készítésének egész időtartama alatt.

Köszönöm a Talajtani és Agrokémia Tanszék labor munkatársainak, hogy a kísérletek elvégzésében nagy segítségemre voltak.

Irodalomjegyzék:

- ALBURQUERQUE, J., DE LA FUENTE, C., FERRER-COSTA, A., CARRASCO, L., CEGARRA, J., ABAD, M., PILAR BERNAL, M., (2012): Assessment of the fertiliser potential of digestates from farm and agroindustrial residues. Department of Soil and Water Conservation and Organic Waste Management, Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, Murcia, Spain, Instituto Agroforestal Mediterráneo, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, Spain
- BAI, A. (2007): A biogáz. Száz magyar falu könyvesháza Kht. Budapest. 15-16 p.
- BARNA, SZ. (2008) Növényekre adaptálható gyors bioteszt kidolgozása talajok nehézfém tartalmának jellemzésére. Szent István Egyetem Környezettudományi Doktori Iskola, Gödöllő
- BARÓTFI I. (2000): Környezettechnika. Mezőgazda kiadó. Budapest. 757-758 p.
- DEBRECZENI, B., RÁDY, M., (1975) Agrokémiai gyakorlatok. Egyetemi jegyzet, Agrártudományi Egyetem Mezőgazdaságtudományi Kar Mezőgazdasági Kémiai Tanszék, Gödöllő 19-43p.
- DIETERICH B., FINNAN J, HEPP S, HOCHSTRASSER T, MÜLLER C (2009) Fertiliser Value and Environmental Impact of Digestate Application on Permanent Grassland. School of Biology and Environmental Science, University College Dublin, Teagasc Oak Park, Carlow, Institute of Plant Ecology, University of Gießen, Germany
- FUCHS, J. G., BAIER, U., BERNER, A, MAYER, J., SCHLEISS, K. (2008) Effects of digestate on the environment and on plant production - results of a research project. Research Institute of Organic Agriculture, Frick, Switzerland, University of Applied Sciences Waedenswil, Waedenswil, Switzerland, Agroscope FAL Reckenholz, Swiss Federal Research Station for Agroecology and Agriculture, Zurich, Switzerland, Consulting for environment and composting, Grenchen, Switzerland
- GULYÁS M., SZEGI T., MAKÁDI M., FÜLEKY GY., (2013) Biogázüzemi erjesztési maradékkal végzett kísérletek a mezőgazdasági felhasználás tükrében. Szent István Egyetem, Környezettudományi Intézet, Talajtani és Agrokémiai Tanszék, Gödöllő, Debreceni Egyetem AGTC KIT Nyíregyházi Kutató Intézet, Nyíregyháza.
- HONG S.G., SHIN J.D., KWON S.I., OH S.Y., JANG Y.A., PARK W.K., LEE D.B., KIM J.G. (2010) Effects of Co-digestate application on the Soil Properties, Leachate and Growth Responses of Paddy Rice. National Academy of Agricultural Science, Gwonseon-gu, Suwon, Korea, College of life science & Biotechnology, Korea University, Anam-dong, Seongbuk-gu, Seoul, Korea
- JEYABAL A., KUPPUSWAMY G., (2000) Recycling of organic wastes for the production of vermicompost and its response in rice–legume cropping system and soil fertility. Nagarjuna Agricultural Research and Development Institute, Vikramপুরi, Secunderabad, India, Department of Agronomy, Annamalai University, Annamalainagar, Tamil Nadu, India
- KEMENESY E. (1972): Földművelés. Talajerő-gazdálkodás. Akadémia kiadó. Budapest.
- KWANG HO KIM, JAE-YOUNG KIM, TAE-SU CHO, JOON WEON CHOI (2012) Influence of pyrolysis temperature on physicochemical properties of biochar obtained from the fast pyrolysis of pitch pine (*Pinus rigida*). Department of Forest Sciences, Research Institute for Agriculture and Life Science, Seoul National University, Seoul, Republic of Korea, Div. of Wood Chemistry and Microbiology, Korea Forest Research Institute, Seoul, Republic of Korea
- MASEK O, BROWNSORT P, CROSS A, SOHI S (2011) Influence of production conditions on the yield and environmental stability of biochar. Biochar Research Centre, School of Geosciences, University of Edinburgh, Edinburgh UK
- MCLACHLAN, K.L., CHONG, C., VORONEY, R.P., LIU, H.W., HOLBEIN, B.E. (2002) Assessing the Potential Phytotoxicity of Digestates during Processing of Municipal Solid Waste by Anaerobic

Digestion: Comparison to Aerobic Composts. Dept. of Land Resource Science Eastern Power/SUBBOR, Dept. of Plant Agriculture University of Guelph, Guelph, Toronto, Canada

MOLLER K., STINNER W., (2008) Effects of different manuring systems with and without biogas digestion on soil mineral nitrogen content and on gaseous nitrogen losses (ammonia, nitrous oxides). Professur für Organischen Landbau, Justus Liebig-Universität Giessen, Giessen, Germany

NYIRI L. (1993): Földműveléstan. Mezőgazda kiadó. Budapest. 196, 202-203 p.

ODLARE, M., PELL, M., SVENSSON, K. (2007) Changes in soil chemical and microbiological properties during 4 years of application of various organic residues. Department of Public Technology, Malmö University, Västerås, Sweden, Department of Microbiology, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden

POGNANI M, D'IMPORZANO G, SCAGLIA B, ADANI F (2009): Substituting energy crops with organic fraction of municipal solid waste for biogas production at farm level: A full-scale plant study. Dipartimento di Produzione Vegetale, Università degli Studi di Milano, Milano, Italy

QUILLIAMA R. S., MARSDENA K. A., GERTLER, C., ROUSKA, J., DELUCAA, H. T., JONES, L. D. (2012) Nutrient dynamics, microbial growth and weed emergence in biochar amended soil are influenced by time since application and reapplication rate. A School of Environment, Natural Resources & Geography, College of Natural Sciences, Bangor University, Bangor, Gwynedd, UK, Biological and Environmental Sciences, School of Natural Sciences, University of Stirling, Stirling, UK, School of Biological Sciences, College of Natural Sciences, Bangor University, Bangor, Gwynedd, UK, Department of Microbial Ecology, Lund University, Ecology Building, Lund, Sweden

SCHULZ, H., EDER, B. (2001): Biogas – Praxis. Ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg.

VERHEIJEN F, JEFFERY S, BASTOS A. C., VAN DER VELDE M., DIAFAS I. (2010) Biochar Application to Soils a Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions. EUR 24099 EN, Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 149pp

Folyóiratok:

INSAM, I.H., FRANKE-WHITTLE, H., KNAPP, B.A., PLANK, R. (2009) Use of wood ash and anaerobic sludge for grassland fertilization: Effects on plants and microbes. Die Bodenkultur 60 (2) 2009, 39-51p

KOVÁCS K., (2005). Hasznos mikrobák – Biogáz és biohumusz szerves hulladékból. Gazdasági Tükörcsop. Magazin. (5) május. 24–25.

MAUNUKSELA, L., HERRANEN, M., TORNIAINEN, M. (2012) Quality Assessment of Biogas Plant End Products by Plant Bioassays. International Journal of Environmental Science and Development, Vol. 3, No. 3, June 2012

SOMOSNÉ NAGY ADRIENN és SZOLNOKY TAMÁS AGROKÉMIA ÉS TALAJTAN 58 (2009) 2 A biogáz-üzemi kiegészítő fermentáció hasznosítása 381–386p

Internetes hivatkozások:

http1: <http://www.biochar-international.org/technology/feedstocks>

http2: <http://www.biochar-international.org/>

http3: <http://www.biochar-international.org/technology/production>

Rendeletek:

50/2001. (IV. 3.) KORMÁNYRENDELET A SZENNYVIZEK ÉS SZENNYVÍZISZAPOK MEZŐGAZDASÁGI FELHASZNÁLÁSÁNAK ÉS KEZELÉSÉNEK SZABÁLYAIRÓL

23/2003. (XII. 29.) KVVV RENDELET A BIOHULLADÉK KEZELÉSÉRŐL ÉS A KOMPOSZTÁLÁS MŰSZAKI KÖVETELMÉNYEIRŐL