



Országos Tudományos Diákköri Konferencia



2015



Különböző P műtrágyák hatása a felvehető P tartalomra inkubációs kísérletben

Készítette: Mónok Dávid,

Környezetgazdálkodási agrármérnök, IV. évfolyam

Pannon Egyetem, Georgikon Kar

Témavezető: Dr. habil. Sárdi Katalin, egyetemi tanár

Növénytermesztéstani és Talajtani Tanszék

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés és célkitűzések.....	3
1. 1. Bevezetés.....	3
1. 2. Célkitűzések	4
2. Irodalmi áttekintés	5
2. 1. A tápanyagellátás története és helyzete Magyarországon	5
2. 2. A foszfor körforgalma.....	9
2. 3. Foszfor a talajban	11
2. 4. Foszfor a növényben.....	14
2. 5. A foszfor műtrágyázás jelentősége.....	16
2. 6. A foszfor problémaköre	18
3. Anyag és módszer	20
3. 1. A kísérleti talajok agrokémiai jellemzői.....	20
3. 2. Az alkalmazott műtrágyák jellemzői	21
3. 3. Kezelések	22
3. 4. A vizsgálati módszerek.....	24
3. 5. Matematikai és statisztikai módszerek.....	25
4. Vizsgálati eredmények és értékelésük	26
4. 1. Részletes kiértékelés	26
4. 2. Összesített eredmények	32
4. 3. A vizsgálat során alkalmazott módszerek összehasonlítása	33
5. Következtetések	37
6. Összefoglalás	39
Köszönetnyilvánítás.....	40
7. Irodalmi jegyzék	41

1. Bevezetés és célkitűzések

1. 1. Bevezetés

A növény életéhez, növekedéséhez, fejlődéséhez és a termésének létrehozásához különböző tápelemek szükségesek. Mivel a növény számára ezek nélkülözhetetlenek, ezért esszenciális elemnek nevezzük őket. 1939-ben 3 pontban definiálták az esszenciális tápelem fogalmát:

- Az elem hiányában a növény normális életciklusa (vegetatív vagy reprodukív szakasza) nem megy végbe.
- Az adott elem az életfunkciókban más elemmel nem helyettesíthető, hiányát csak az elem pótlásával lehet javítani.
- Az elem közvetlenül részt vesz a növény anyagcsere-folyamataiban, valamint enzimek aktiválásában (ARNON-STOUT, 1939).

A növények ezekből a tápelemekből különböző mennyiséget igényelnek, a különböző növényfajoknak eltérő a fajlagos tápelem-szükséglete. A termés mennyiségét, a Liebig-féle minimumtörvény értelmében, az optimálisan szükséges mennyiséghez viszonyított hiány határozza meg. Ez azt jelenti, hogy a legkisebb mennyiségben szükséges tápelem korlátozó tényező, ha ez a mennyiség nem elérhető a növény számára. A tápelemeken kívül a termésszint további tényezőktől is függ. Fontos a víz jelenléte, és a megfelelő tápanyag-forma is. Ezen kívül befolyásolják még a talaj kémiai tulajdonságai, a mikroorganizmusok tevékenységei, és a hőmérséklet is (FÜLEKY et al., 1999).

A termesztett növények gazdasági értékét a termés minősége és mennyisége határozza meg. Ennek eléréséhez megfelelő tápanyagellátás szükséges, mely szerves- és műtrágyákkal történik.

Dolgozatom a foszfor tápanyag-ellátás témaköréhez tartozik, ezen belül a foszfor műtrágyákban lévő tápanyag átalakulását, lekötődését tanulmányoztam.

1. 2. Célkritikák

A foszfor műtrágyázás egyik legnagyobb problémája a kijuttatott tápanyag lekötődése, és átalakulása olyan formákká, melyek a növények számára nem felvehetőek. Ha a növények nem képesek felvenni a kijuttatott tápanyagot, akkor az csökkenti a műtrágyázás hatékonyságát, és jelentős terméskieséssel járhat.

A kedvezőtlen átalakulást nem csak a kijuttatott forma határozza meg, hanem a talaj fizikai, kémiai tulajdonságai is. A legfontosabb talajtulajdonságok ezzel kapcsolatban: a kémhatás, a kötöttség, a foszfor-ellátottság, és a foszfátmegkötő képesség. Mivel a különböző talajoknál változó az átalakulás üteme, ezért szükség van a talajok összehasonlító vizsgálatára, elemzésére (BARROW, 1980).

Laboratóriumi körülmények között az inkubációs kísérletek alkalmasak a lekötődés mértékének vizsgálatához, így én is ezt a módszert alkalmaztam.

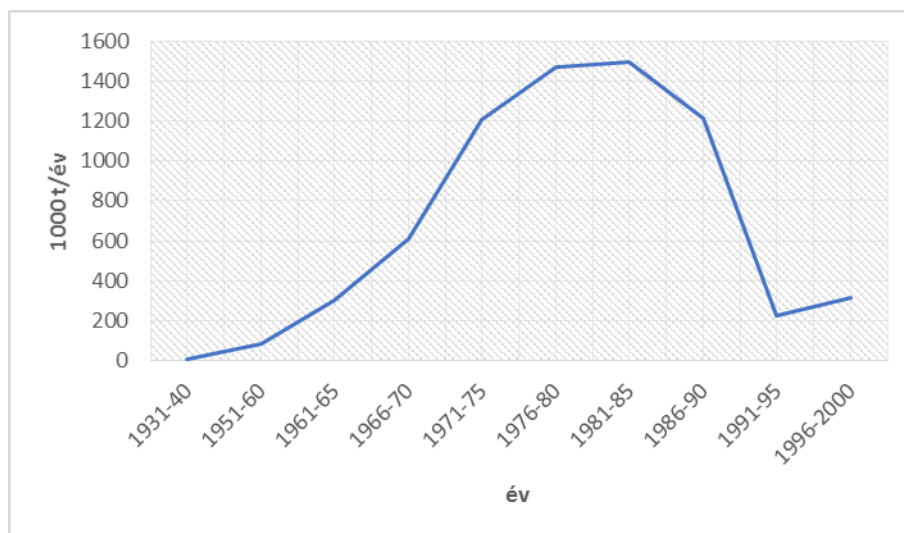
Célom, hogy a két eltérő műtrágya hatását vizsgálva, összehasonlítsam a foszfor lekötődésének mértékét, illetve erre releváns magyarázatot adjak.

2. Irodalmi áttekintés

2. 1. A tápanyagellátás története és helyzete Magyarországon

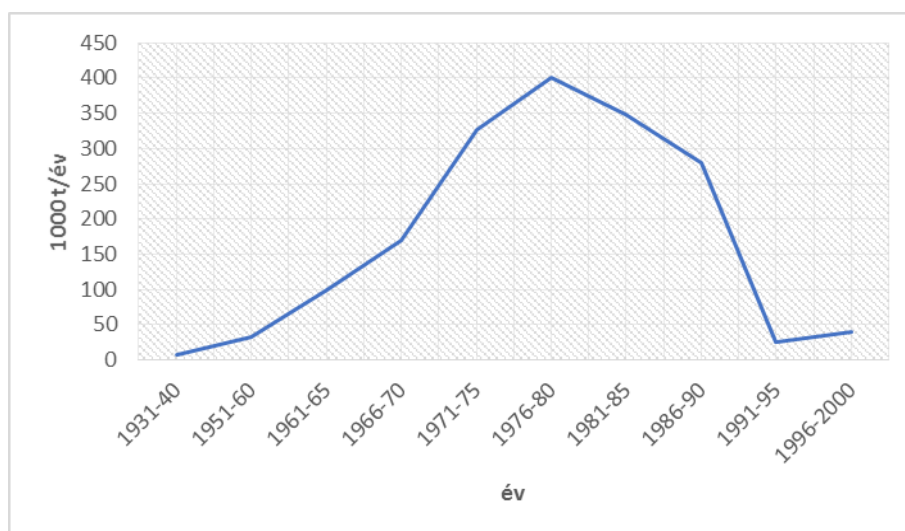
A növénytermesztés során, a megfelelő terméshozam eléréséhez jelentős mennyiségű tápanyag szükséges. Ezt a növény elsődlegesen a talajból veszi fel. Az elvont tápanyag pótlása szerves- és műtrágyázás során történik. Ennek hiányában a talajtermékenység romlik.

Hazánkban a rendszeres műtrágya kijuttatás az 1930-as évektől kezdődött meg. Kezdetben kevés műtrágyát használtak, ennek megfelelően alacsony terméshozamok voltak jellemzőek. A II. világháborút követően, az 1940-es évektől a műtrágya-felhasználás jelentősen növekedett, mely a műtrágya-termelés, az agrotechnikai módszerek, és a nagyüzemi gazdálkodás fejlődésének volt köszönhető. Az 1950-es és 60-as években ez a növekedés folytatódott. 1970-től a termés szükségletén felüli magas műtrágyaadagok voltak jellemzőek, az alacsony műtrágyaárak miatt, így jelentősen pozitív volt az országos tápanyagmérleg. A kialakult műtrágyázási szint 1985-ig nagymértékben nem változott. Ezután lassan, majd 1990-től drasztikusan csökkent az országos műtrágya felhasználás. Ebben szerepet kapott a tulajdonviszonyok megváltozása, a mezőgazdasági termékek alacsony felvásárlási ára, és a műtrágyaárak jelentős növekedése. Ebben az időszakban a műtrágya-felhasználásban jelentős területi különbségek is jellemzőek voltak. A fejlett, jó termőhelyi adottságú üzemekben nagyobb mennyiségű műtrágyát juttattak ki, szemben a gyenge termőképességű, rossz gazdasági helyzetű területekkel. 1995-re a műtrágya felhasználás az 1960-as évekbeli szintre csökkent. Ezután újra lassú növekedés indult meg. A műtrágya-felhasználást hazánkban az 1. ábra mutatja be (LOCH-NOSTICZIUS, 2004).



1. ábra: Műtrágya felhasználás Magyarországon 1931-2000

Forrás: Mezőgazdasági Statisztikai Évkönyv, Központi Statisztikai Hivatal



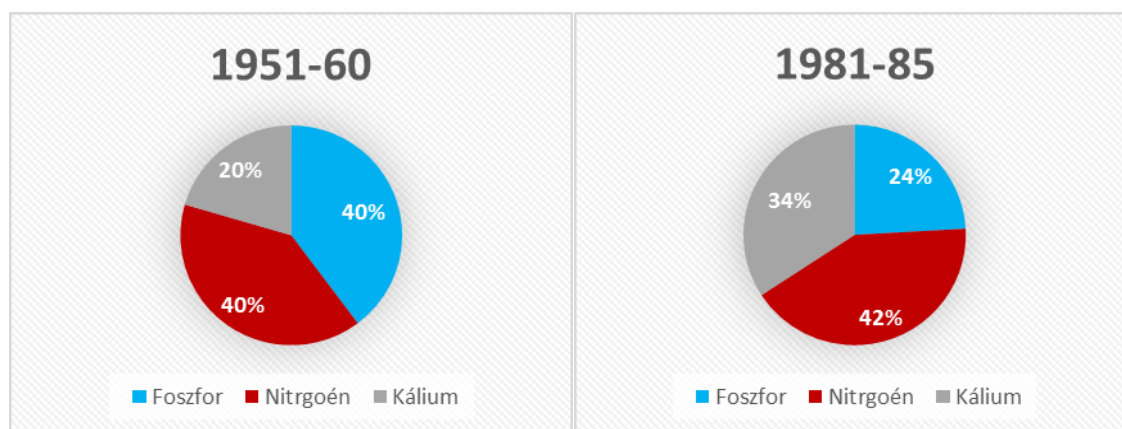
2. ábra: Foszfór műtrágya felhasználás Magyarországon 1931-2000

Forrás: Mezőgazdasági Statisztikai Évkönyv, Központi Statisztikai Hivatal

A 2. ábrán látható, hogy a foszfór műtrágya-felhasználás hasonlóan alakult, mint a kálium felhasználás. Az 1930-as évektől növekedni kezdett a kijuttatott mennyiség, egészen az 1980-as évekig (1980-ban elérte a 400 ezer tonna kijuttatott mennyiséget). Ekkor az állami támogatások fokozatos megszűnései miatt csökkenni kezdtek a foszfór műtrágyaadagok, majd a rendszerváltás után újra alacsony szintre került a foszfór-felhasználás. Azóta kismértékű növekedés tapasztalható, amely napjainkban is tart.

A műtrágya mennyiségének változása mellett, átalakult a műtrágyák felhasználásának az aránya is, mely a 3. ábrán látható. Az 1950-es években közel azonos hatóanyag-mennyiségű

nitrogén, illetve foszfor műtrágyát juttattak ki, később az arányuk a nitrogén javára változott. Közben a kálium-felhasználás is többszörösére növekedett.

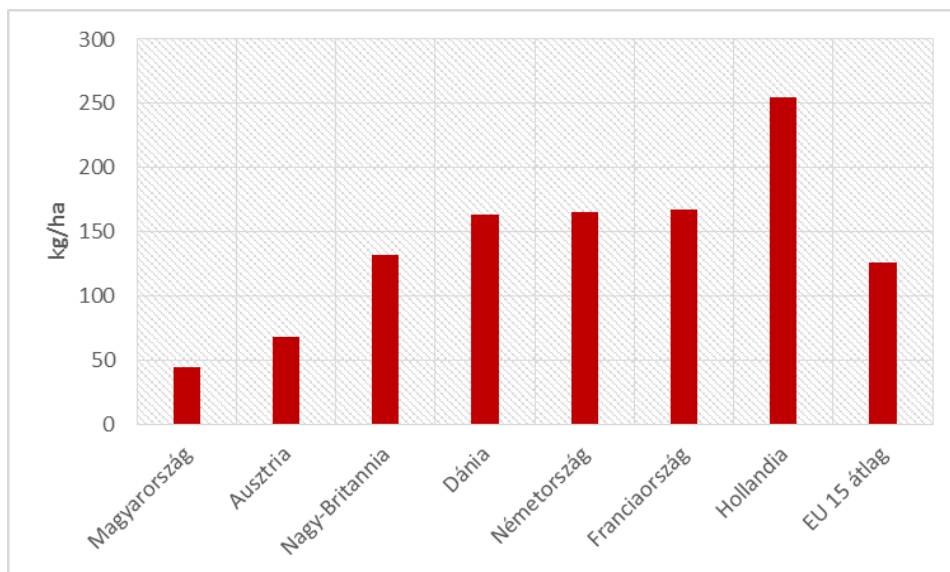


3. ábra: NPK műtrágyák arányának változása

Forrás: Mezőgazdasági Statisztikai Évkönyv, Központi Statisztikai Hivatal

Jelenleg erősen negatív az ország tápanyagmérlege. A termés által kivont tápanyag mennyiség jóval meghaladja a műtrágyákkal bejuttatott adagokat. Ez a talajtermékenység romlásához, a termés mennyiségének és minőségének a csökkenéséhez vezet. 2000-től kezdve a nitrogén tápanyagmérlege jelentősen ingadozik, főként a területről elvitt termésmennyiség függvényében változik. A foszfor tápanyagmérleg viszont minden évben negatív volt, ami jelentősen veszélyezteti a hazai mezőgazdasági termelést (BÓDAY-TÓTH, 2012).

Magyarország műtrágya-felhasználásának szintje európai viszonylatban alacsony (4. ábra). Az ábrán látható, hogy az Európai Unió országaihoz képest jelentős elmaradásban vagyunk műtrágya kijuttatásban. A vezető országok (Hollandia, Németország), a hazai adatokhoz képest, hektáronként akár 4-5-szörös mennyiséget is felhasználhatnak évente.



4. ábra: Műtrágya-felhasználás az EU országokban (2007)

Forrás: Fertilizer Europe, Eurostat

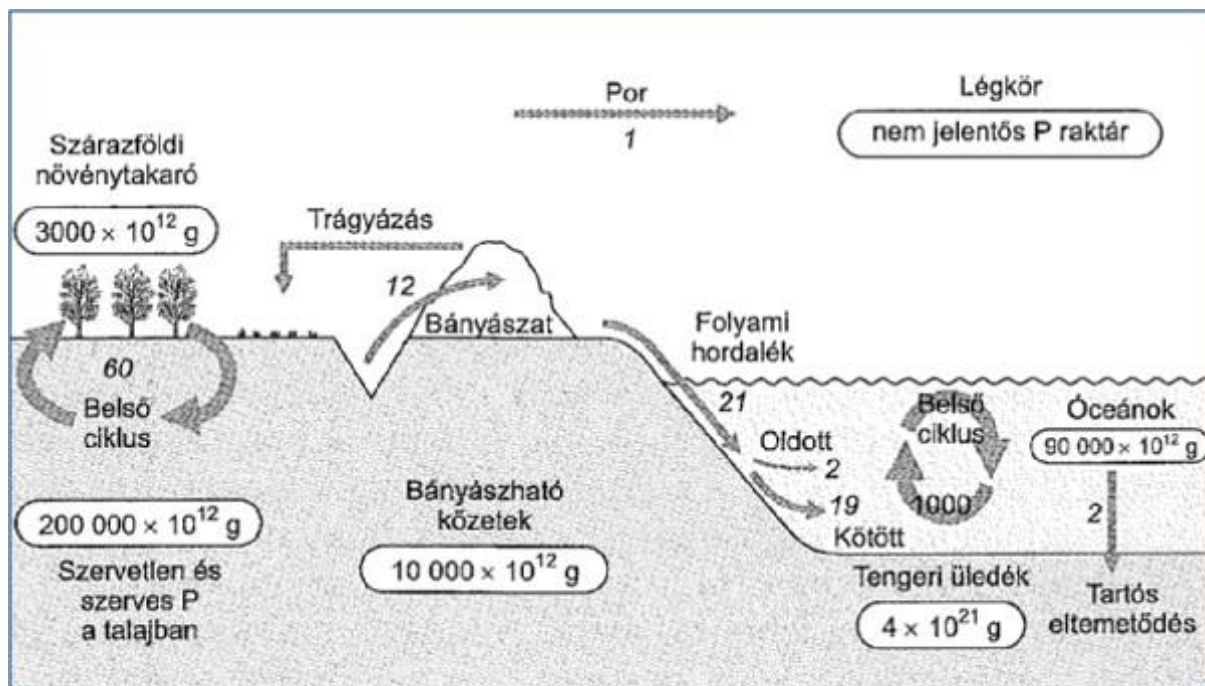
2. 2. A foszfor körforgalma

A foszfor a nemfémek közé tartozik, a Földön a 11. leggyakoribb elem. A természetben szinte kizárólag foszfátok formájában van jelen. A leggyakoribb foszfátásvány az apatit, melyben a foszfát kalciumhoz, magnéziumhoz, alumíniumhoz, és vashoz kötődik. A foszfor az ökoszisztémák legfontosabb növekedéskorlátozó eleme, mert az oldott foszfátok mennyisége korlátozott. Forgalmában főként kémiai folyamatok jelentősek (INTERNET1).

A globális foszforkörforgalom alapvetően 4 fő szakaszból áll. A folyamat elején a foszfor-tartalmú kőzetek a tektonikus mozgások hatására a talaj felsőbb rétegeibe kerülnek, ahol az éghajlati tényezőknek lesznek kitéve. A különböző kémiai és fizikai folyamatok hatására, az ásványok felaprózódnak és oldódnak, majd az oldott és szemcsés foszfor a folyókba kerül. Ezek után eljut a felszíni vizekbe, vagy az óceánokba. Végül a foszfor szerves és ásványi anyagokban leülepedik, és megkötődik ezekben a lerakódásokban (RUTTENBERG, 2003).

A talajból a növények növekedésük során felveszik a foszfort, amely így bekerül a táplálékláncba és annak különböző szintjeire juthat el. A magasabb rendű szervezetek foszfor feleslegüktől ürülék formájában szabadulnak meg, mely bizonyos környezetekben jelentős mennyiségben halmozódhat fel. Az elpusztult élőlényekből pedig a baktériumok képesek felszabadítani a foszfort, szerves vegyületek formájában. Így a foszfor újra a talajba, vagy a vizekbe kerül. A növények által fel nem használt foszfor egy része kimosódik, és a vízfolyásokba kerül, majd állóvizekbe, tengerekbe jut. Az állóvizekbe jutott foszfor a kémiai és adszorpciós folyamatoknak köszönhetően nehezen oldható üledéket képezhet, így kikerülhet a körforgalomból. A természetes vizekben oldott formában is jelen lehet, 0,1 mg/l nagyságrendű koncentrációban. Ezt meghaladó foszfáttartalom a házi és ipari szennyvizekben, vagy a mezőgazdasági vízhasznosítás után fordul elő. A foszfort ilyen formában növények is felvehetik, mely folyamat eutrofizálódást idézhet elő (SZILÁGYI, 2000).

Az eutrofizáció az egyik legfontosabb környezetvédelmi probléma a foszfortápanyagellátásban. A P feldúsulása az állóvizekben algásodáshoz vezet, amely megnöveli a baktériumok számát. Ezek felhasználják a vízben oldott oxigént, és a folyamat a halak fajszerkezetének csökkenéséhez vezet (PÁSZTOR-OBORNY, 2007).



5. ábra: A foszfor körforgalma

Forrás: Pásztor E. és Oborny B. (szerk.) 2007: Ökológia. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest

Az 5. ábrán látható, hogy a foszfor jelentős része a tengeri üledékben és a talajban található. Ennek oka, hogy a foszfor gyorsan keresztüláramlik a növényeken és az állatokon, azonban az a folyamat, ami a P-t mozgatja a talajban és az óceánokban, nagyon lassú. Ez teszi a foszfor ciklust az egyik leglassabb biogeokémiai ciklussá. Fontos megemlíteni, hogy ellentétben más vegyületek ciklusaival, a foszfor nem található meg a levegőben, gáz formájában, mivel a foszfor normál hőmérsékleten és körülmények között szilárd halmazállapotban van jelen (GODÓ, 2011).

A szilárd foszfornak a természetben 3 allotróp módosulatát különböztetjük meg:

- sárga foszfort, amely késsel vágható, erősen mérgező, gyúlékony anyag, és szobahőmérsékleten hevesen oxidálódik.
- vörös foszfort, amely szinte semmiben sem oldódik, ezért nem képes mérgezést okozni. Képes átalakulni sárga foszforrá.
- fekete foszfort, amely csak magas hőmérsékleten és nyomáson alakul ki, fémesen csillog, valamint a hőt és a villamosságot jól vezeti (INTERNET2).

2. 3. Foszfor a talajban

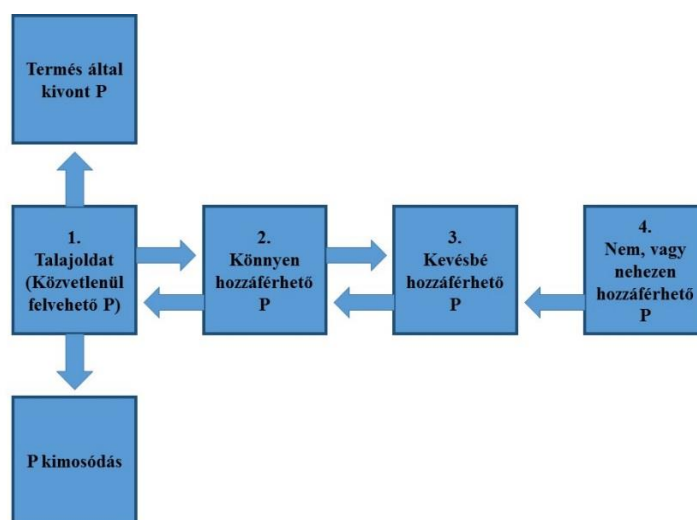
A talaj foszforkészletének egy része apatitok formájában (hidroxiapatit, fluorapatit) áll rendelkezésre, másik része az apatitok mállástermékeiből, szerves maradványokból, és a felhasznált műtrágyákból alakul át. A talajok összes P-tartalma 0,02-0,3% P_2O_5 között van, melyből mindössze 4-8% felvehető a növények számára. Mivel szerves és szervesetlen kötésben is előfordul, ezért a foszforforgázkodásban a biológiai és a szervesetlen kémiai folyamatoknak is nagy jelentősége van. A szerves eredetű foszfor aránya körülbelül 30-50%, melyet főként foszfolipidek, nukleinsavak, és inozitfoszfátok tesznek ki (STEFANOVITS et al., 1999).

Az ásványi eredetű foszfor az talaj összes foszfortartalmának 50-70%-át teszik ki. Formái:

- vízzoldható sók: $Ca(H_2PO_4)_2$, KH_2PO_4 , $NH_4H_2PO_4$, $(NH_4)_2HPO_4$, NaH_2PO_4 stb.
- gyenge savakban oldható sók: $CaHPO_4$, $MgHPO_4$
- nem oldható foszforvegyületek: hidroxiapatit, fluorapatit, variscit, strengit
- adszorbeált foszfor: $Al(OH)_2H_2PO_4$, $Fe(OH)_2H_2PO_4$

A szervesanyag-tartalom és a foszfor-tartalom között nincs szoros összefüggés. A C/P arány a jó minőségű talajokon 100, viszont a 150 feletti értékek kedvezőtlenek. A szerves P-tartalom mineralizációja lassú. Ha a C/P arány 200:1-nél alacsonyabb mineralizáció, ha magasabb, akkor immobilizáció megy végbe (FÜLEKY et al., 1999).

A talaj foszfortartalmát csoportosíthatjuk úgy is, hogy a növény számára mennyire elérhető. Ezt a következő ábra (6. ábra) szemlélteti:



6. ábra: Foszfor a talajban

Forrás: A.E. Johnston & I. Steen, Understanding Phosphorus and Its Use in Agriculture

Látható, hogy a növény a talajoldatból veszi fel a foszfort, hiszen az közvetlenül elérhető a számára. A növények ellátásában azonban diffúciónak van nagy szerepe, mivel a foszfácionok koncentrációja alacsony a talajoldatban (mindössze 0,02-4,0 mg/l). A könnyen elérhető P a talaj komponenseinek a felületén adszorbeálódik, és ez egyensúlyban van a talajoldat foszformennyiségével. Ha csökken a növények számára felvehető P koncentrációja a talajoldatban, akkor a felületen kötött P kerül oda, a diffúzió során. A 3. csoportban talaj elemeihez erősebben kötött P van, mely csak később tud hasznosulni. A 4. csoportban pedig olyan kötött P formákat találunk, melyek nem, vagy csak nagyon nehezen tudnak a növények számára felvehető formákká alakulni (SYERS et al, 2008).

A tápanyagok közül a foszfor az egyik legkevésbé mozgékony. Ez azt jelenti, hogy a talajban vízzel oldható foszfor-vegyületek, a monokalciump-foszfát ($\text{CaH}_2[\text{PO}_4]_2$), és a dikalcium-foszfát (CaHPO_4), könnyen átalakulnak nehezebben oldható foszfátokká. Ebben a kémiai átalakulásoknak, illetve fiziko-kémiai folyamatoknak van nagy szerepe (BOCZ, 1976).

A P ellátottság szempontjából fontos megemlíteni a mikroszervezetek tevékenységét. A szerves P oldódását is elősegítik (a biológiai úton termelt H^+ -ionok által). A mikroszervezetek szerves savakat is termelnek (pl.: hangyasav, ecetsav, tejsav, propionsav), melyek szintén segítik az oldódást.

A növények is képesek H^+ -ionok termelésére, melyek szintén oldó hatást gyakorolnak a gyökerek közelében lévő nehezen oldható foszfátokra. Ez a képesség azonban eltérő a különböző növényfajoknál. A foszfátfelvételt a talaj nedvességtartalma is befolyásolja. Száraz időszakokban kisebb a foszfátfelvétel (LOCH - NOSTICZIUS, 2004).

A talajok foszfortartalmát szerves és műtrágyázással javíthatjuk. A fenntarthatóság, és a környezetvédelem jegyében megjelent az ökológiai tápanyag-gazdálkodás. Ennek lényege, hogy trágyázás során annyi tápanyagot juttassunk a talajba, amennyit a növények felvesznek. Ehhez a talaj közepes tápanyag-ellátottsága a legoptimálisabb. Az ökológiai gazdálkodásban a tápanyagokat elsősorban szerves anyagokkal pótoljuk, ami komoly problémát okozhat a foszfor megfelelő mennyiségű visszapótlásának szempontjából. Mivel szerves trágyázás során nem tudunk elegendő foszfort kijuttatni, a foszfor tápanyag-mérleg jelentősen negatív lesz (BENEDEK-FÜLEKY, 2008).

2. 4. Foszfor a növényben

A foszfor szerepe az élő szervezetekben igen széles körű, a legtöbb élettani, biokémiai anyagcsere-folyamatban részt vesz valamilyen formában. Megtalálható a fotoszintézisben, a légzésben, az energiaközvetítő- és átalakító folyamatokban. Fontos építőeleme számos sejtalkotó vegyületnek, a foszforproteideknek, foszfolipideknek, illetve a membránoknak, amelyek a sejtek szerkezetét alakítják ki. Szerepet játszik az életfolyamatokat szabályozó és örökletes tulajdonságokat hordozó vegyületekben is (pl.: polinukleotidok, ADP, ATP, nukleotid komponensű koenzimek).

A növények elemifoszfor-tartalma 0,1-0,5% szárazanyagra számítva. A növények a foszfort a talajoldatból veszik fel, savanyú közegből H_2PO_4^- -anion, és semleges, lúgos közegből $\text{H}(\text{PO}_4)_2^-$ -anion formájában. A foszfor felvételét és hatását befolyásolják más tápelemek is, pl. a nitrogén, a kálium, a magnézium. A K és a Mg kedvezően hat a foszfáton-felvételre, az anion-kation egyensúly miatt. Ezzel szemben a nitrogén kedvezőtlenül hat, az anion antagonizmus miatt. Ha szerves vegyületeket juttatunk ki (pl.: istállótrágya), ezek bomlása során olyan komplex képzők, kelátképzők keletkeznek, amelyek kapcsolatba lépnek a talajban található Ca ionokkal, és így megakadályozzák a nehezen oldható Ca-foszfátok képződését, tehát istállótrágyázás mellett jobb lesz a P hasznosulása. Ezt nevezzük humát-effektusnak (FÜLEKY et al, 1999).

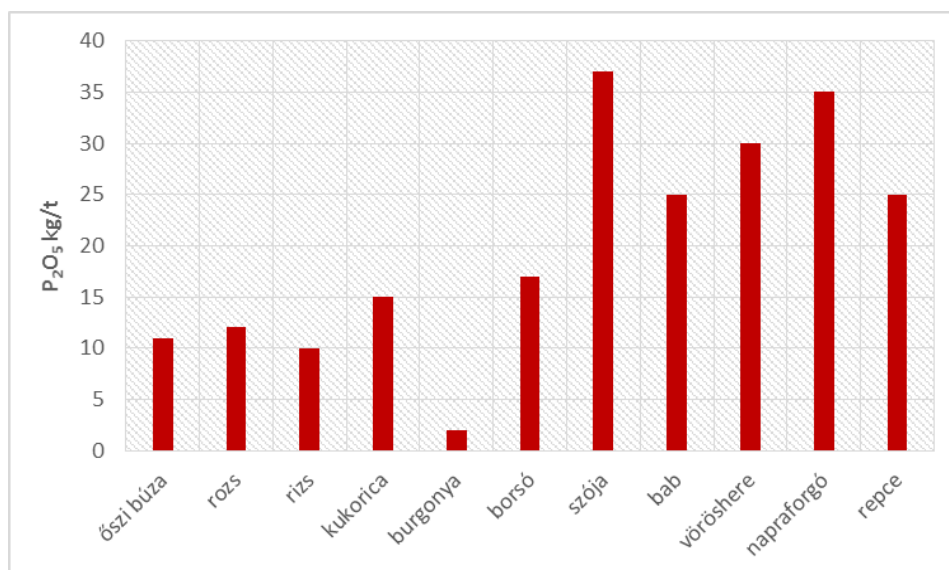
A felvett foszfátonok szerves foszfáttá alakulnak és a növény különböző szerveibe szállítódnak. A növény a floemen keresztül szállítja a foszfort elsősorban a fiatal levelekbe. A foszfor reutilizálható, így nemcsak a gyökér által felvett, hanem az idős levelekből származó vegyületek is felhasználhatóak. Legismertebb szerepe a növények életében az energia szolgáltatása a különböző anyagcsere-folyamatokhoz. Ez ATP formájában valósul meg, mely képződésekor pirofoszfátkötésben tárolja az energiát, amit átalakulásakor szabadít fel. A növények szaporítószerveiben, a magban a foszfor fitinsav sójaként halmozódik fel, ami rendkívül fontos a csíranövény foszforellátása szempontjából (PETHŐ, 1993).

Hiányos foszfor-ellátás esetén a növények rosszul fejlődnek, elmaradnak a növekedésben. A szárrészek vékonyak, fejletlenek maradnak. P hiánytünete a levelek elszíneződése sötétzöld színre, illetve idősebb leveleknél lila pigmentációk is megfigyelhetők. Mivel a P könnyen mobilizálható a növényben, ezért a hiánytünetek először az idősebb növényi

részeken jelentkeznek. A foszforhiány negatívan hat a virág- és termésképzésre, ami különösen gyümölcs- és gabonaféléknél okoz gondot (JONES, 2000).

A foszforfelesleg közvetlen hatása általában nem észlelhető. A foszfor nagy mennyisége esetén oldhatatlan vas- és cink-foszfát képződés mehet végbe, ami vas- és cinkhiányt okozhat a növények számára. A nitrogén és a foszfor fiziológiai hatásukat tekintve egymásnak antagonistái. Emiatt a nagy mennyiségű foszfor N-hiányként mutatkozhat meg (INTERNET3).

A termesztett növények foszforigénye nagyon eltérő lehet. Az alábbi ábrán (7. ábra) jól látható, hogy egyes növények (magas olajtartalmú, vagy fehérjetartalmú növények) magasabb foszforellátottságot igényelnek, míg más növények (pl.: burgonya) kevesebb foszfort vonnak ki a terméssel a talajból.



7. ábra: A termesztett növények terméssel kivont P_2O_5 szükséglete
Forrás: Sarkadi J.: A műtrágyaigény becslésének módszerei (1975)

A különböző igény miatt, a kiegyensúlyozott tápanyag ellátás érdekében, műtrágyázáskor figyelembe kell venni: a növény optimális igényét, és a talaj tulajdonságait is. Megfelelő ellátás esetén a termés mennyisége és minősége is kedvezőbb (SARKADI, 1975).

2. 5. A foszfor műtrágyázás jelentősége

A növények számára a foszfor az egyik legfontosabb tápelem, ezért a megfelelő termésmennyiség és minőség eléréséhez elengedhetetlen hatékony visszapótlása a talajba. Az első foszfor műtrágyát kénsavas feltárással, csontlisztből állították elő 1840-ben Liebig javaslatára. Ezt követően 1890-től indult meg a szuperfoszfát gyártása. Változás következett be a nyersanyagban is, hiszen a csontlisztet felváltották az úgynevezett nyersfoszfátok. Bár a foszfor műtrágyák nem tartalmaznak foszfor-pentoxidot, hatóanyagtartalmukat rendszerint P_2O_5 %-ban fejezik ki ($1\% P_2O_5 = 0,436\% P$)

A foszforműtrágya-gyártás célja a nehezen oldható foszforvegyületek átalakítása vízben vagy gyenge savakban oldható vegyületekké. A nyersfoszfátok savas feltárással, vagy hőkezeléssel alakíthatók át oldható foszfáttokká, savfelesleg hatására foszforsav keletkezik.

A foszfortrágyázás javítja a termés minőségét, elősegíti a virág- és magképződést. Ennek következtében növeli a talaj termékenységet, csökkenti a termésingadozást. A talaj könnyen oldható P készlete általában 300-600 kg/ha, de ebből mindössze 1-2 kg van oldott formában jelen. A növények ellátását ezért az oldódás sebessége határozza meg (LOCH-NOSTICZIUS, 2004).

A foszforvegyületek oldhatósága a talajban a kedvezőtlen átalakulási folyamatok következtében általában rohamosan csökken, így célszerű a jól ellátott talajokon is pótolni valamennyi foszfort. Ugyanakkor, túl nagy mennyiségű foszfor kijuttatása környezeti problémákat is okozhat. Egy bizonyos koncentráció felett, a felszíni és a felszín alatti vízkészleteket terhelhetik. A műtrágyák hatékonyságának növelésével, és a veszteségek csökkentésével azonban ez a folyamat elkerülhető (SÁRDI et al., 2006).

Foszfor műtrágyát legtöbb esetben alaptrágyaként alkalmazzuk, melynek megosztása nem indokolt. Kijuttatása ősszel történik, ilyenkor fontos a műtrágya bedolgozása (szántás, tárcsázás) is. Egyes kultúráknál (pl. gabonaféléknél) sortrágyázást is alkalmaznak a kezdeti energiahány biztosítása érdekében. A gyengén ellátott talajon pedig feltöltő trágyázást alkalmaznak az ellátottság növelése érdekében (INTERNET4).

A leggyakrabban alkalmazott műtrágyák: szuperfoszfát és a hiperfoszfát

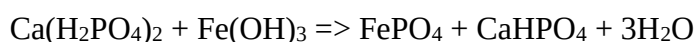
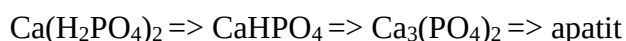
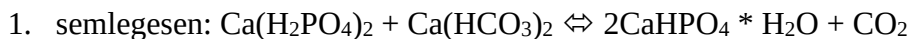
A szuperfoszfát a legelterjedtebben használt foszfor műtrágya. Előállításához kénsavas feltárással történik nyersfoszfátból. Így foszforsav keletkezik, melynek megkötésére bázisos anyagokat használnak (pl.: mészkő, dolomit, foszforit). A műtrágya fizikai tulajdonságai és oldódásának gyorsasága granulálással javítható. A hatóanyagot monokalcium-difoszfát, és szabad foszforsav formában tartalmazza. Az általánosan használt granulált szuperfoszfát hatóanyagtartalma 16-20 % P_2O_5 (INTERNET5).

A hiperfoszfát a talaj foszfátellátottságának gyors javítására alkalmazható. Előállítása lágyföldszerű nyersfoszfátokból történik speciális őrlési technológiával, melyet később granulálnak. Foszfortartalma mellett, magas a mésztartalma is, ezért elsősorban savanyú és gyengén savanyú talajokra ajánlatos. Egyéb alkotóelemei is segítenek a talaj savanyodása ellen, illetve javítják a talaj struktúráját. A foszfortartalma magasabb a szuperfoszfáténál: 26% körüli P_2O_5 (INTERNET6).

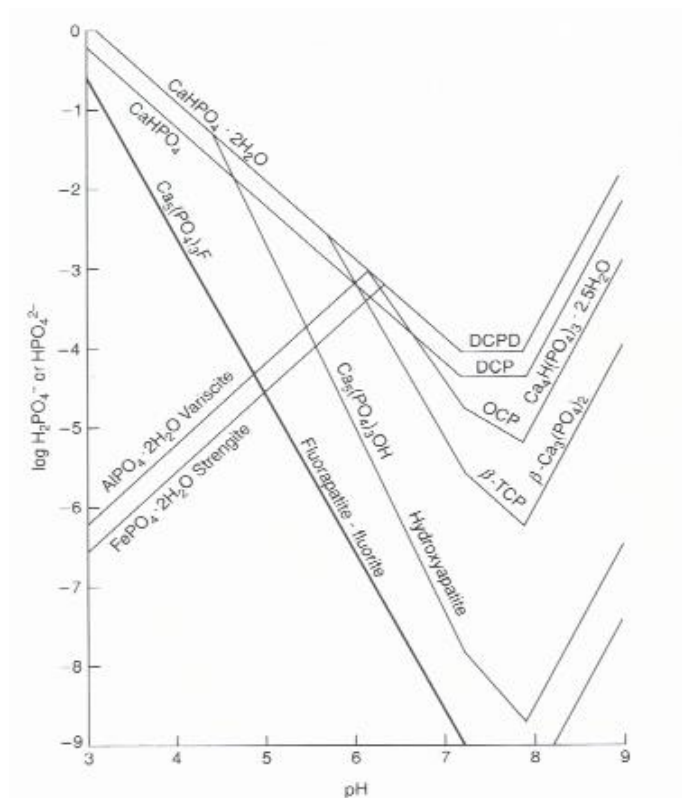
2. 6. A foszfor problémaköre

Az előzőekben már szó volt róla, hogy a foszfor felvételére a semleges kémhatás a legkedvezőbb, mivel savasabb vagy lúgosabb környezetben kedvezőtlen átalakulási folyamatok következnek be. A könnyen oldható foszfátok savanyú talajokban Fe-, és Al-foszfátokká alakulnak, míg meszes talajokban Ca-foszfátok keletkeznek.

A P lekötődése a pH változásával az alábbi módon megy végbe:



Ez az átalakulás azért is jelent problémát, mivel növekvő pH hatására a Ca-foszfátok keletkeznek, azonban oldhatóságuk nagymértékben csökken. Savasabb pH-jú talajon ugyanez a probléma jellemző a Fe-, Al-foszfátokra. A talajban található ásványi P formákat, a pH függvényében, az alábbi ábra (8. ábra) foglalja össze:



8. ábra: Ásványi P-formák oldhatósága a talajban

Forrás: INTERNET7

Az ábrán is látható, a semlegestől eltérő kémhatás-tartományban olyan formákban van jelen a foszfor, melyek a növények számára nem felvehetők. Bár e foszfor-formák adott pillanatban nem tudnak hasznosulni, a talaj tulajdonságainak változásával később a növények számára felvehető formává alakulhatnak.

A kijuttatott műtrágyák hatóanyagai sem hasznosulnak már az első évben, azonban a talaj által elraktározott P formák olyan utóhatásokat idézhetnek elő, amivel nő a felvehető foszfor-mennyiség. Mivel az erózió foszfor esetében kisebb mértékű, ezért lehet hasznos a talaj feltöltő trágyázása (IGE et al., 2007).

A különböző tartamkísérletek is bizonyítják a foszfor műtrágyák utóhatását. A kijuttatott műtrágya szinte teljes mennyisége kimutatható az első évben, azonban később ez csökken. A következő évben nagyjából a hatóanyag fele, az azutáni évben harmada marad a talajban AL oldható formában. A 4. évtől általában már nem nő a megkötődés, egyfajta egyensúlyi állapot áll be (KÁDÁR et al., 1984).

A különböző talajoknál azonban más-más az átalakulás üteme, hiszen a talajtulajdonságok erősen befolyásolják a műtrágyák hatóanyagainak lekötődését. Jelentős módosító tényező a talaj pH-ja, szerves anyag tartalma, foszfor-ellátottsága, kötöttsége (BARROW, 1980).

A különböző műtrágyák hatásai sem azonosak. A szuperfoszfát és a hiperfoszfát különböző tulajdonságokkal bírnak, így hatásuk a talajra is eltérő. A hiperfoszfát műtrágya elsősorban savanyú talajokra ajánlott, ahol a szuperfoszfát a savanyító hatása miatt kedvezőtlen.

Mivel a foszfor átalakulása a talajban olyan vegyületeket képez, amelyek a növény számára nem felvehetőek, ezért a mezőgazdaságban jelentős gazdasági kárt okozhat. Épp ezért fontos vizsgálni a különböző műtrágyák hatóanyagainak a lekötődését a talajban. Erre laboratóriumi körülmények között az inkubációs kísérlet ad lehetőséget, így én is ezt a módszert választottam.

3. Anyag és módszer

Kísérletemben két eltérő helyről származó talajt használtam fel, melyek kötöttsége, kémhatása és foszfor-ellátottsága is jelentősen eltért. A kísérlet során két különböző tulajdonságú műtrágya hatását vizsgáltam. Ezeket 4 növekvő adagban adtam hozzá a kísérleti talajokhoz. Minden kezelést 4-szeres ismétlésben végeztem el, majd a mintákat termosztátba helyeztem a 4 hónapos inkubációs időre 15 C°-on.

3. 1. A kísérleti talajok agrokémiai jellemzői

A különböző termőhelyről származó talajok bizonyos tulajdonságai eltértek egymástól. Ezt az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat: A talajok agrokémiai jellemzői

Jelzés	Származás	Talaj-típus	Termő helyi kategória	K _a	pH _{H2O} pH _{KCl}	Humusz %	AL-P ₂ O ₅ mg/kg	Foszfát-lekötés %
„A”	Vaspör	Ramann-féle barna erdőtalaj	II.	45 Vályog	6,52 5,12	1,81	308,4	84,09
„B”	Keszthely	Ramann-féle barna erdőtalaj	II.	36 Könnyű vályog	7,62 6,79	1,97	94,5	67,27

A kísérlet megkezdése előtt megmértem a talajok foszfát-lekötését. 100 g talajhoz 10 mg P₂O₅-nek megfelelő KH₂PO₄-ot adtam, majd a következő napon AL módszerrel meghatároztam a talaj foszfát-megkötőképességét a megfelelő képlet segítségével. A kapott eredmények igazolják, a korábbi kutatások eredményeit. A savanyúbb kémhatású talajban a foszfát-lekötődés értéke magasabb, mivel alacsonyabb pH-n oldhatatlan Fe-, és Al-foszfátok keletkeznek (GYÖRI et al., 1976).

3. 2. Az alkalmazott műtrágyák jellemzői

A szuperfoszfát a legelterjedtebben használt foszfor műtrágya. Fizikai tulajdonságai és oldódásának gyorsasága granulálással javítható. A kísérletemben granulált szuperfoszfátot használtam, amit felhasználás előtt porítottam, majd a talajmintákhoz adtam. A hatóanyag-tartalma 18% P_2O_5 , mely monokalcium-difoszfát, és szabad foszforsav formában van jelen. Alkalmazásakor talajsavanyító hatása problémát okozhat.

A hiperfoszfátnak foszfortartalma mellett, magas a mésztartalma is, ezért elsősorban savanyú és gyengén savanyú talajokra ajánlatos. Egyéb alkotóelemei is segítenek a talaj savanyodása ellen, illetve javítják a talaj struktúráját. Az általam alkalmazott hiperfoszfát a Donau-chemie terméke. Hatóanyag-tartalma magasabb a szuperfoszfáténál: 26% P_2O_5 . Ezenkívül tartalmaz még 2% MgO-ot, és 40% CaO-ot, illetve más kísérőanyagokat is, pl.: nátriumot, mangánt, cinket, rézet és molibdént (INTERNET8).

Az egyes kezelésekhez tartozó műtrágya-mennyiséget, a műtrágyák hatóanyag-tartalma alapján számoltam ki, melyet a 2. táblázatban foglaltam össze:

2. táblázat: Szükséges foszfor műtrágya adagok 100 g talajhoz

Kezelések	Szuperfoszfát (18% P_2O_5)	Hiperfoszfát (26% P_2O_5)
0 mg/kg	0 mg	0 mg
50 mg/kg	27,78 mg	19,23 mg
100 mg/kg	55,56 mg	38,46 mg
150 mg/kg	83,34 mg	57,69 mg

3. 3. Kezelések

A kísérletben 4 növekvő adagú foszforkezelést alkalmaztam. Minden kezelést 4 ismétlésben végeztem el. 2 különböző műtrágyát használtam (szuperfoszfátot, illetve hiperfoszfátot), melyeket a megadott hatóanyag tartalom ($P_2O_5\%$) alapján számítottam ki, és adagoltam a mintákhoz. Ennek következtében, a 4 hónapos inkubációs idő alatt a minták foszfortartalmának mennyisége növekedett.

Az inkubációhoz 100 g talajt mértem be üveg-edényekbe, előzetesen a kezeléseknek megfelelő foszfor műtrágya adagokat a talajokhoz kevertem. Az inkubációs időre ezeket lefedtem, a megfelelő szellőzésről pedig kavicsokkal teli túllzacskók gondoskodtak.

Összegezve, kísérletemben az alábbiak tanulmányozására, összehasonlítására nyílt lehetőségem:

- 2 különböző műtrágya (szuperfoszfát, és hiperfoszfát)
- 2 eltérő talaj (egy semleges, illetve egy savas pH-val rendelkező)
- 4 kezelés (0, 50, 100, 150 mg/kg P_2O_5)
- 2 vizsgálati módszer (AL-oldható P_2O_5 , vízoldható P_2O_5)

Ennek megfelelően összesen 56 darab mintát helyeztem a termosztátba (9. ábra), melyek számozása a 3. táblázatban látható.

3. táblázat: Üvegek számozása

Talaj	Kezelések	Műtrágya	
		szuperfoszfát	hiperfoszfát
A	0 mg/kg	1-4	
	50 mg/kg	5-8	17-20
	100 mg/kg	9-12	21-24
	150 mg/kg	13-16	25-28
B	0 mg/kg	29-32	
	50 mg/kg	33-36	45-48
	100 mg/kg	37-40	49-52
	150 mg/kg	41-44	53-56



9. ábra: A talajminták a termosztátban
forrás: saját fotó

3. 4. A vizsgálati módszerek

A felvehető foszfor mennyiségének meghatározására alkalmas módszerek kiválasztása fontos kérdés. Egyrészt a mezőgazdasági szempontú P vizsgálati módszerek nem a termés számára elérhető mennyiséget mérik, hanem a P azon részét, mely a növény által felvehető foszforral kapcsolatban van. Másrészt a foszfor rendelkezésre állását csak egy külső tényező (pl.: növény) segítségével tudjuk definiálni, mivel a különböző növények foszfor-felvétele eltérő. Ezért fontos, hogy az alkalmazott módszer azt a P mennyiséget reprezentálja, amely a növények szempontjából hasznosulni képes (TIESEN-MOIR, 1993).

A kísérlet során az Európában ismert és Magyarországon általánosan alkalmazott ammónium-laktát (AL) kivonószerrel történő vizsgálatot, illetve a vízdoldható foszfor tartalom meghatározására szintén ismert, Murphy-Riley módszer módosított változatát használtam.

Az AL módszerrel a talaj oldható-foszfortartalma határozható meg. Lényege, hogy a vizsgálandó talajt, Egner-Riehm-Domingó (1960) módszere alapján, AL kivonószerrel reagáltatjuk, és a szűrletből meghatározzuk a foszfortartalmat spektrofotométer segítségével. Kísérletem során 5 g előkészített talajt mértem be, amire 100 ml ammónium-laktát+ecetsav oldatot öntöttem, majd 2 órán keresztül rázattam. Ezek után az oldatot leszűrtem, és 10 ml-t pipettáztam 50 ml-es lombikokba. Ehhez 20 ml kénsavas ammónium-molibdenátot, valamint 2 ml aszkorbinsavas ón-kloridot adtam, és végül desztillált vízzel jelig töltöttem a lombikot. 30 perc várakozás után a kék színű komplex fényáteresztő képessége spektrofotométer segítségével mérhető, melyet 660 nm hullámhosszúságon végeztem el, ismert koncentrációjú standard oldathoz viszonyítva (EGNER et al., 1960).

A másik alkalmazott módszer a vízdoldható foszfor meghatározás. Alapelve, hogy az 1:50 talaj: víz arányú kivonatból a foszfort a módosított Murphy-Riley módszerrel határozzuk meg. Ehhez 4 g előkészített talajt használtam fel, melyet 200 ml desztillált vízzel, szintén 2 órán keresztül rázattam. A tiszta szűrletből 20 ml-t 50 ml-es lombikba pipettáztam, majd 10 ml reagenst adtam hozzá. A reagens ammónium-molibdenátot, kálium-antimon(III)-oxid-tartarát, kénsavat, és aszkorbinsavat tartalmaz. 30 perc elteltével, spektrofotométer segítségével 720 nm-en fotometráltam, és a standard oldathoz viszonyítva meghatároztam a minták foszfor-koncentrációját (MURPHY-RILEY 1962).

3. 5. Matematikai és statisztikai módszerek

Az általam alkalmazott matematikai és statisztikai módszereket a Microsoft Excel adatelemző bővítményével, az Analysis Toolpack-kel végeztem el. A vizsgálataimhoz felhasznált módszerek a következők:

Egytényezős varianciaanalízis:

Kettőnél több minta várható értékének összehasonlítására szolgáló matematikai statisztikai eljárás, melyek a leghatékonyabb kiértékelést teszik lehetővé. A vizsgálat során a teljes adatmennyiség szórását, varianciáját vizsgálja. Segítségével kizárható a véletlenre visszavezethető eltérés. Feltétele, hogy a várható értékének összehasonlításakor a valószínűségi változók azonos szórásúak és normális eloszlásúak legyenek (SZÚCS, 2002).

Az eredmények értékeléséhez szükség van az SzD5% értékek (az 5%-os szignifikanciaszinthez tartozó maximális hiba) kiszámításához, melyeket ezzel a módszerrel határozhatunk meg. Segítségével megállapíthattam, hogy a felvehető P tartalom növekedése valóban statisztikailag igazolható volt-e a mintákban.

Lineáris regresszió:

Két mennyiség kapcsolatának a vizsgálatára használható. Ha két folytonos változó lineáris kapcsolatban van egymással, akkor az egyik segítségével előre jelezhetjük a másik értékét. A változók közötti kapcsolatot egy függvénnyel fejezzük ki. Használata akkor indokolt, ha független változók együttes, lineáris kapcsolatára vagyunk kíváncsiak egyetlen függő változóval. Feltétele, hogy változóknak normális eloszlásúnak kell lenniük, valamint folytonos változóknak és lehetőség szerint varianciájuk is homogén legyen. Így általánosítjuk és függetlenítjük az összefüggést a mintaválasztástól (FISCHER-YATES, 1957).

A felvehető P tartalom mérésére alkalmazott módszereket hasonlítottam össze a regresszió analízissel. A vizsgálatok elvégzése után, lineáris kapcsolat mutatkozott köztük, a kapott eredményeket a 4. 3. fejezetben ismertetem.

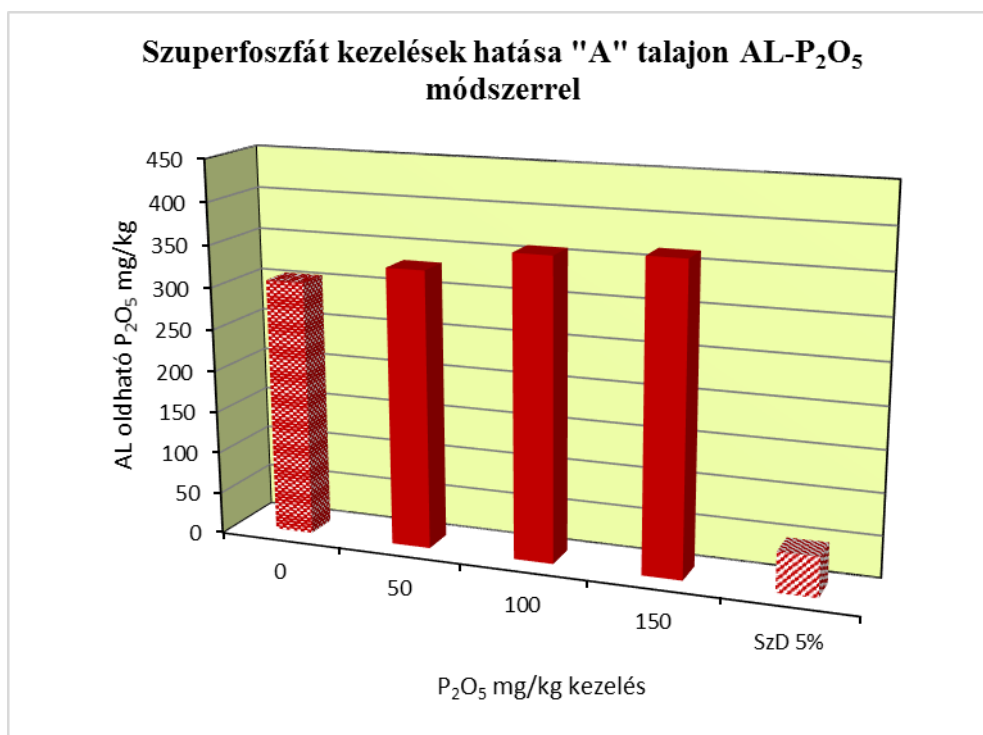
4. Vizsgálati eredmények és értékelésük

4. 1. Részletes kiértékelés

A talajok AL kivonószeres eredményei:

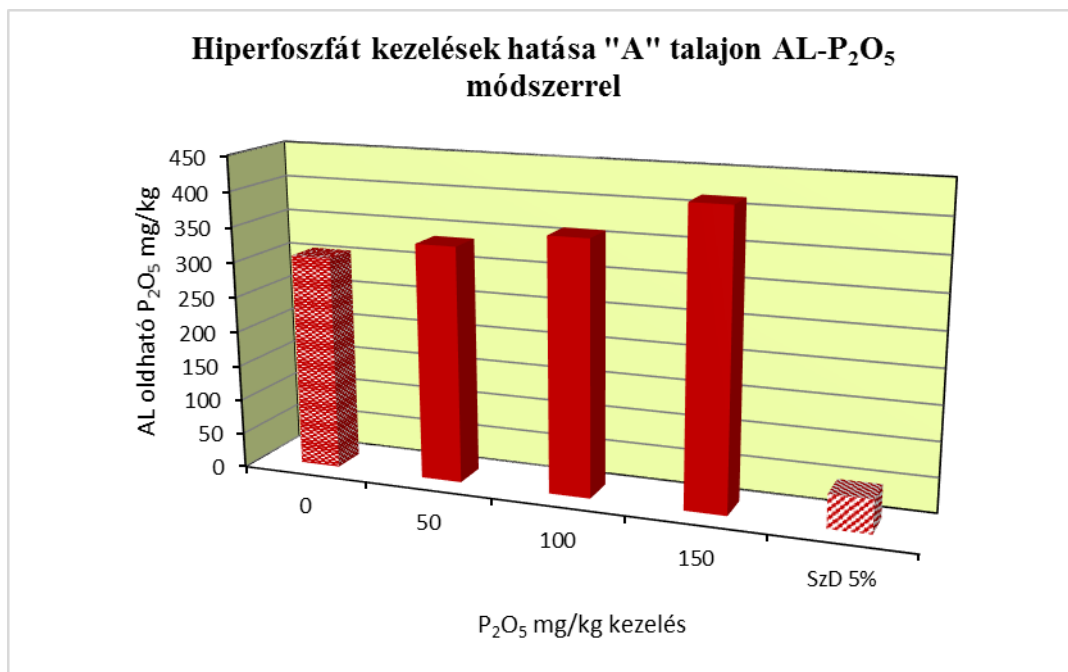
„A” talaj

Szuperfoszfát kezelések hatására az ammónium-laktáttal végzett foszfor meghatározásnál, a talajok foszfortartalma növekedett. Az 50 mg-os és 100 mg-os kezelésnél nagyjából azonos arányú növekedés tapasztalható, azonban 150 mg-os kezelésnél a foszfortartalom növekedése kisebb. A kontroll 306 mg/kg-os értékét az 50 mg-os kezelés 26, a 100 mg-os kezelés 54 mg/kg-al növelte. Ehhez képest a 150 mg-os kezelés eredménye csak 7 mg/kg-al több, mint a 100 mg-os adagé (10. ábra).



10. ábra: Szuperfoszfát kezelések hatása „A” talajon AL-P₂O₅ módszerrel

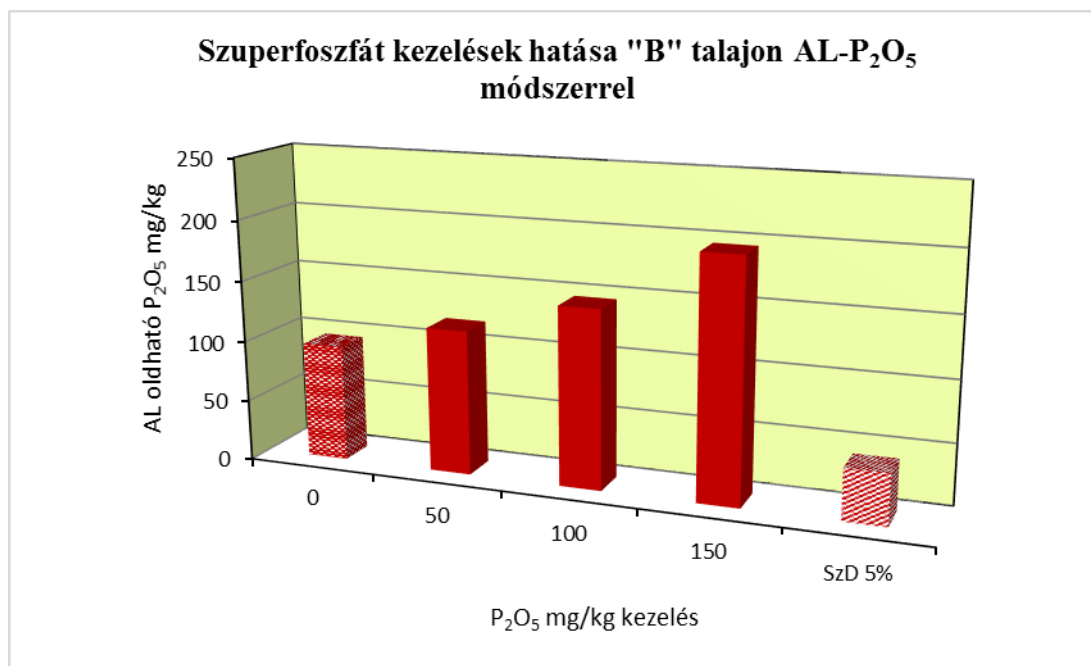
A hiperfoszfáttal végzett kezeléseknél is növekedett a foszfor mennyisége a kontrollhoz képest. Az 50 mg-os és 100 mg-os kezeléseknél a foszfor mennyiségének változása hasonlóan alakult, mint a szuperfoszfát műtrágya alkalmazása során. Előbbi 30, utóbbi 54 mg/kg-al növelte a kontroll értékét. Magasabb adagnál azonban, a hiperfoszfát hatására jelentős növekedés következett be. A kezeletlen minta 306 mg/kg-os értékét 416,5 mg/kg-ra emelte (11. ábra).



11. ábra: Hiperfoszfát kezelések hatása „A” talajon AL-P₂O₅ módszerrel

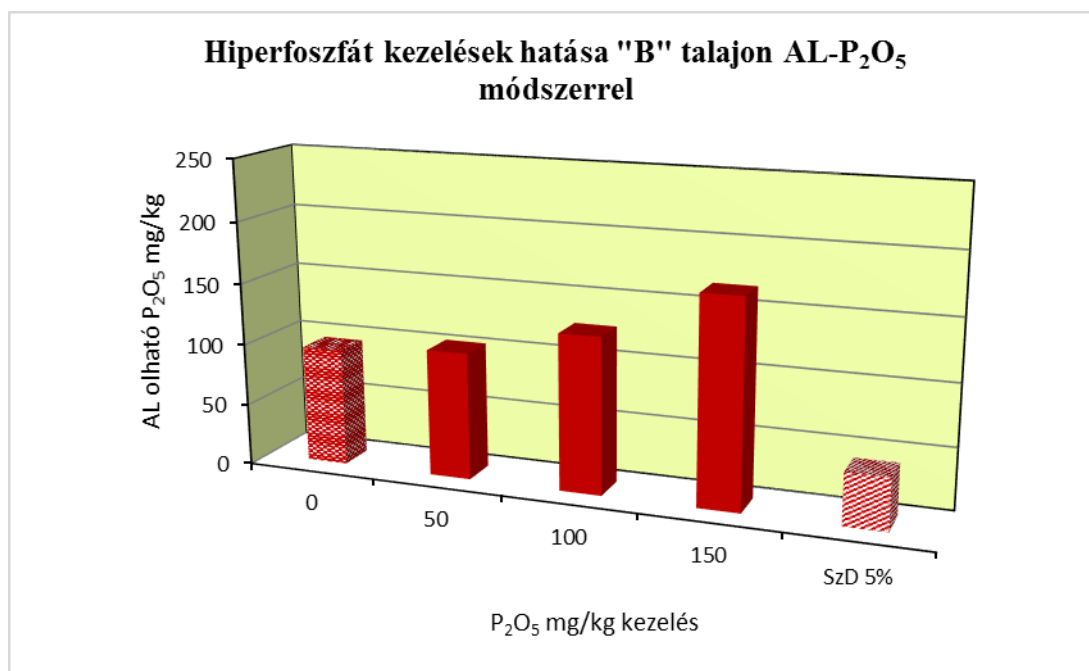
„B” talaj

A magasabb pH-jú talajon szuperfoszfát alkalmazása során jelentős növekedés volt tapasztalható. A kezelések növekedésével a foszfor-tartalom egyre nagyobb arányban növekedett. A kontroll foszfortartalma 95,5 mg/kg volt, ezt a növekvő kezelések 23, 28 illetve 50 mg/kg-al növelték. Látható, hogy a 150 mg-os kezelésnél a legjelentősebb a növekedés (12. ábra).



12. ábra: Szuperfoszfát kezelések hatása „B” talajon AL-P₂O₅ módszerrel

Hiperfoszfát műtrágya felhasználásánál 50 mg-os kezelésnél nem mutatkozott jelentős változás a kontrollhoz képest. Csak 8 mg/kg-al növelte a kezeletlen értéket. Bár, itt is igaz, hogy a növekvő adagok hatására a foszfor tartalom egyre nagyobb arányban növekedik, azonban az elért eredmények minden esetben alacsonyabbak, mint a szuperfoszfáttal végzett kezeléseknél. A 100 mg-os kezelés eredménye 126,5, míg a 150 mg-osé 167 mg/kg (13. ábra).

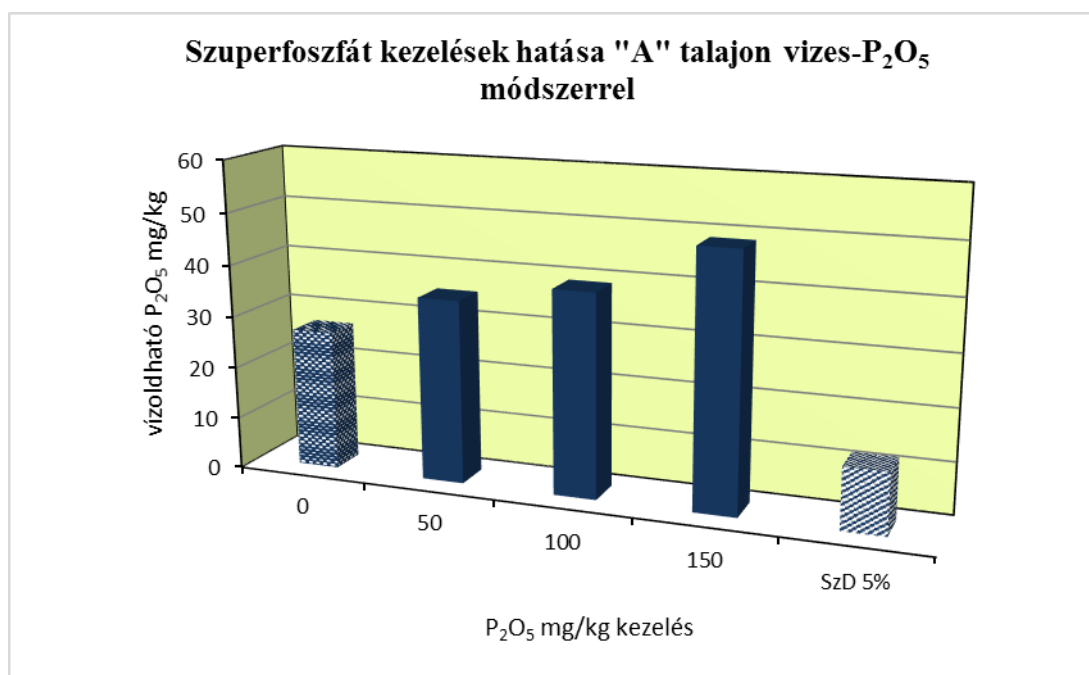


13. ábra: Hiperfoszfát kezelések hatása „B” talajon AL-P₂O₅ módszerrel

A talajok vízzoldható eredményei:

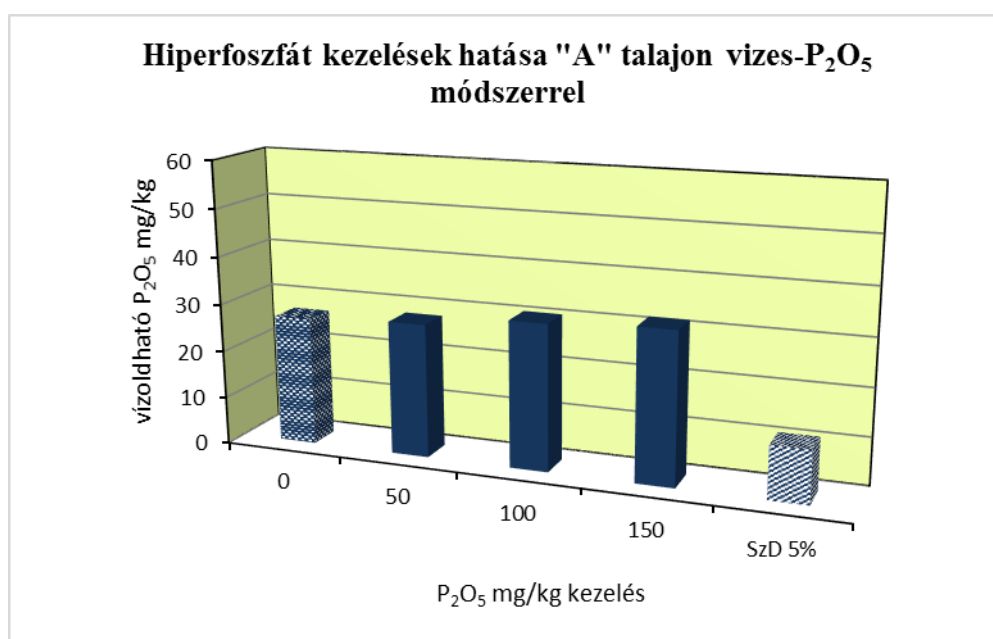
„A” talaj

Szuperfoszfát kezeléseknél szignifikáns változás következett be. Már 50 mg-os kezelésnél is jelentős volt a foszfortartalom növekedése, de nagyobb adagok hatására még tovább nőtt. A kontroll 26,91 mg/kg-os értékét az 50 mg-os kezelés 35,35, a 100 mg-os kezelés 39,07 mg/kg-ra növelte. A legnagyobb foszfortartalmat a 150 mg-os kezelésnél mértem. Ennél az adagnál a mért foszfor-mennyiség közel a duplájára nőtt (14. ábra).



14. ábra: Szuperfoszfát kezelések hatása „A” talajon vizes- P_2O_5 módszerrel

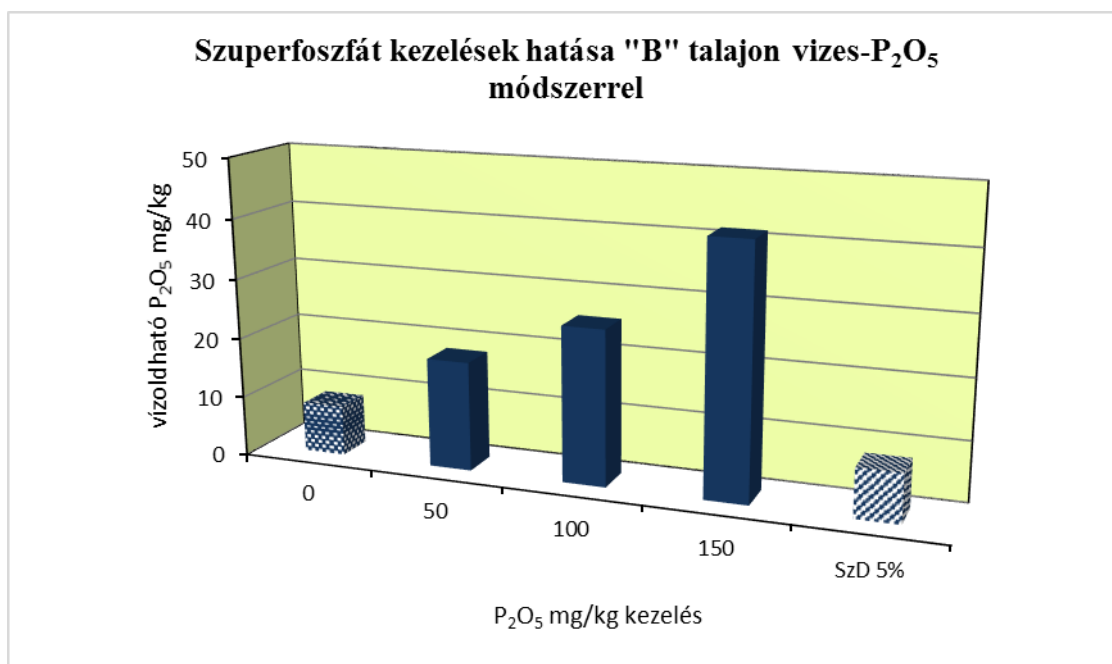
Hiperfoszfát kezelések esetében a növekedés jelentősen kisebb. Jól látható, hogy a foszfor mennyisége egyik kezelésnél sem eredményezett nagy változást, így jóval elmaradnak a szuperfoszfáttal végzett kezelések értékeitől. A mért értékek azonban itt is növekedő tendenciát mutatnak. A hozzáadott műtrágya adagok növekedésével a foszfor mennyisége 1,1, 3,7, illetve 4,9 mg/kg-al nőtt (15. ábra).



15. ábra: Hiperfoszfát kezelések hatása „A” talajon vizes- P_2O_5 módszerrel

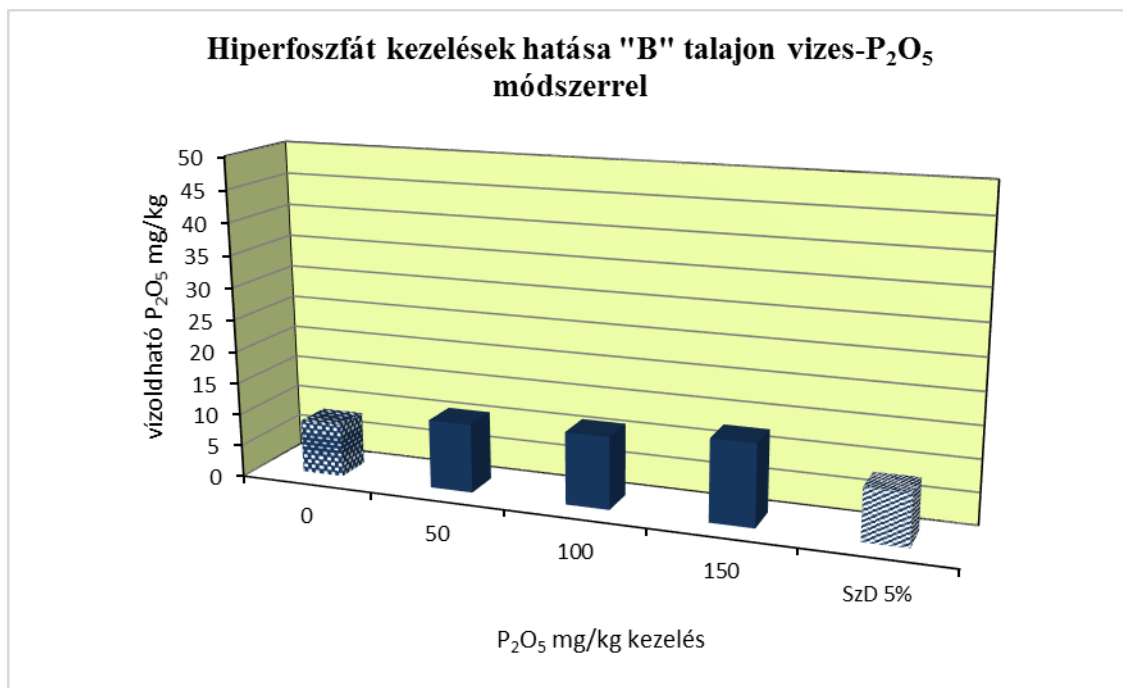
„B” talaj

A szuperfoszfáttal végzett kezelés eredményei hasonlóan alakultak, mint az „A” talaj esetében. Minden kezelés hatására növekedtek az értékek a kontrollhoz képest, legnagyobb mértékben a 150 mg-os kezelésnél. Már 50 mg-os műtrágya-adag hatására is kétszeresére nőtt a foszfor-tartalom, 150 mg-os kezelésnél ez az érték pedig már ötszörös a kontrollhoz viszonyítva. Megállapítható, hogy a mérések során itt következett be a legnagyobb mértékű növekedés (16. ábra).



16. ábra: Szuperfoszfát kezelések hatása „B” talajon vizes-P₂O₅ módszerrel

Hiperfoszfát alkalmazása során itt sem történt nagy változás. A foszfor-tartalom növekedett a kontrollhoz képest, azonban ez a növekedés csak kismértékű. A kontroll 8,3 mg/kg-os eredménye érdemben nem változott. Az egyes műtrágyaadagok növekedésével a kapott értékek 2,4; 3; illetve 4,5 mg/kg-al nőnek (17. ábra).



17. ábra: Hiperfoszfát kezelések hatása „B” talajon vizes- P_2O_5 módszerrel

4. 2. Összesített eredmények

Az eredményekből megállapítható volt, hogy a 4 hónap elteltével mérhető értékek jól tükrözték a növekvő foszforadagok hatását. A foszfor mennyisége, a nagyobb adagok hatására növekedett mind a két talaj, illetve műtrágya esetében a kontrollhoz képest. A kontroll változása a kiindulási értékekhez képest elhanyagolható. Az összesített eredményeket a 4-5. táblázat foglalja össze:

4. táblázat: Összesített eredmények AL-oldható foszfor meghatározással:

Talaj	Kezelések	Műtrágya	
		szuperfoszfát	Hiperfoszfát
A	0 mg/kg	306	
	50 mg/kg	331,5	336
	100 mg/kg	359	360,5
	150 mg/kg	366	416,5
B	0 mg/kg	95,5	
	50 mg/kg	118,5	103
	100 mg/kg	146	126,5
	150 mg/kg	196	167

5. táblázat: Összesített eredmények vízzoldható foszfor meghatározással:

Talaj	Kezelések	Műtrágya	
		szuperfoszfát	Hiperfoszfát
A	0 mg/kg	26,91	
	50 mg/kg	35,35	28,05
	100 mg/kg	39,07	30,63
	150 mg/kg	48,81	31,77
B	0 mg/kg	8,3	
	50 mg/kg	18,18	10,73
	100 mg/kg	25,76	11,26
	150 mg/kg	41,51	12,78

4. 3. A vizsgálat során alkalmazott módszerek összehasonlítása

A vizsgálat során alkalmazott módszerek eredményei között jelentős különbségek alakultak ki.

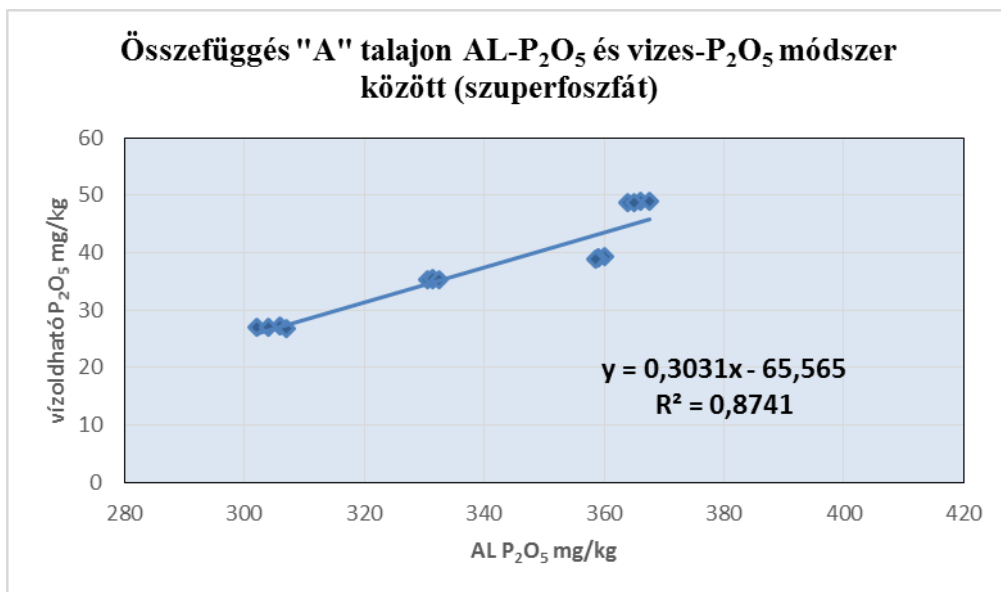
Ammónium-laktát kivonószert esetén az eredmények rendszerint magasabbak voltak, mint a vizes kivonatban. Ez mindkét talaj, illetve műtrágya esetében igaz volt, és a növekedő adagok hatására sem változott.

A különbség a 2 módszer eltérése miatt alakulhatott ki. AL módszer alkalmazása során a savas tartományban mérünk (pH: 3,7), míg a módosított Murphy-Riley módszernél a mérési közeg semleges (pH: 7). Savas pH körülményeknél a foszfor könnyebben oldódik, így a talajoldatba nagyobb mennyiségben kerül be. Ez okozhatja a mérések közötti eltérést.

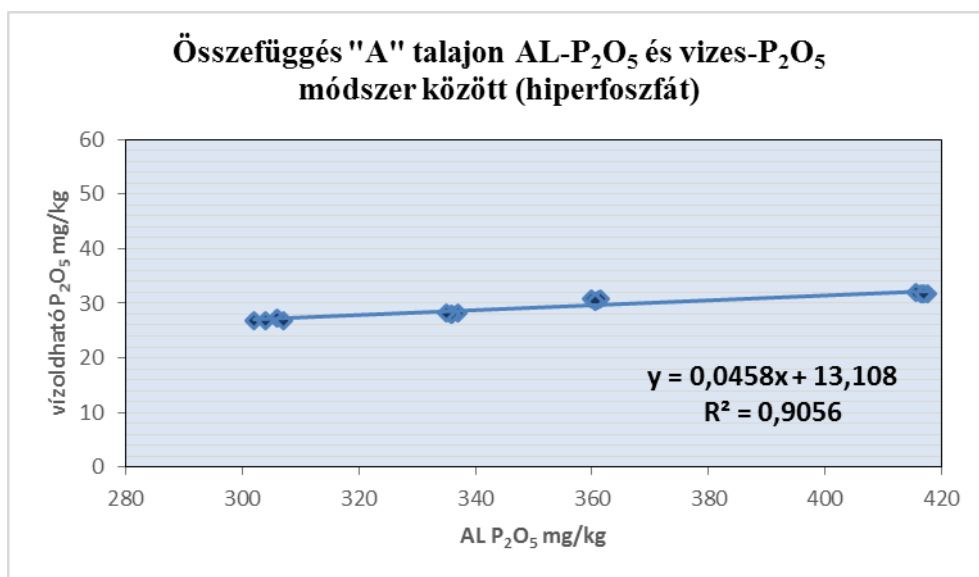
Bár a 2 módszer eredményei különböznek, közöttük szoros lineáris összefüggés van. Az R^2 értéke: 0,75 és 0,98 között változik. Ezt az értéket korreláció analízissel határoztam meg, és ez alapján a 0,1 %-os szinten is jelentős a kapcsolat az eredmények között (FISCHER-YATES, 1957).

A két módszer közötti összefüggés bizonyítja, hogy a talaj felvehető foszfor-mennyiségének mérésére mindkét módszer alkalmazható. Hazánkban az AL módszerrel való meghatározás terjedt el.

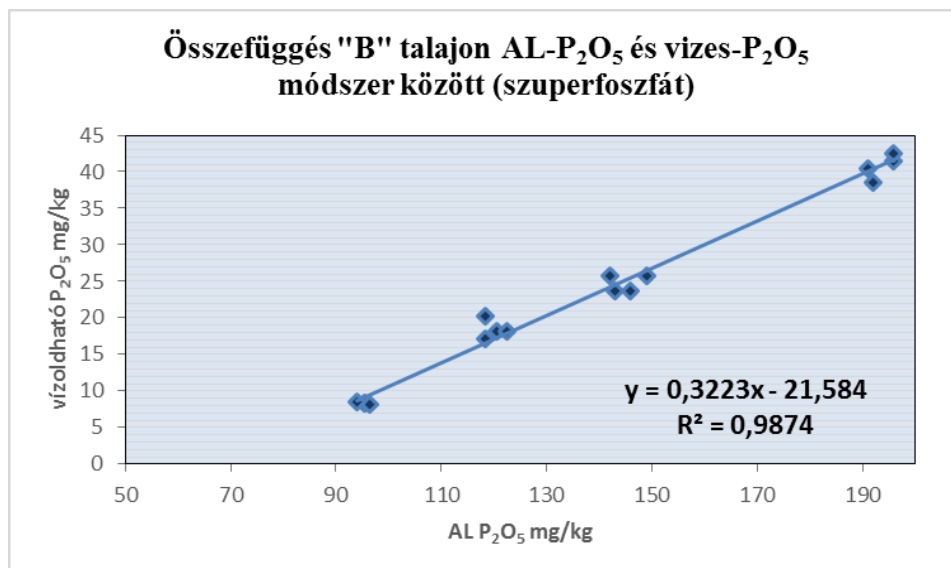
A következő ábrák (18-21. ábra), valamint a 6. táblázat mutatják be az összefüggés vizsgálatának az eredményeit:



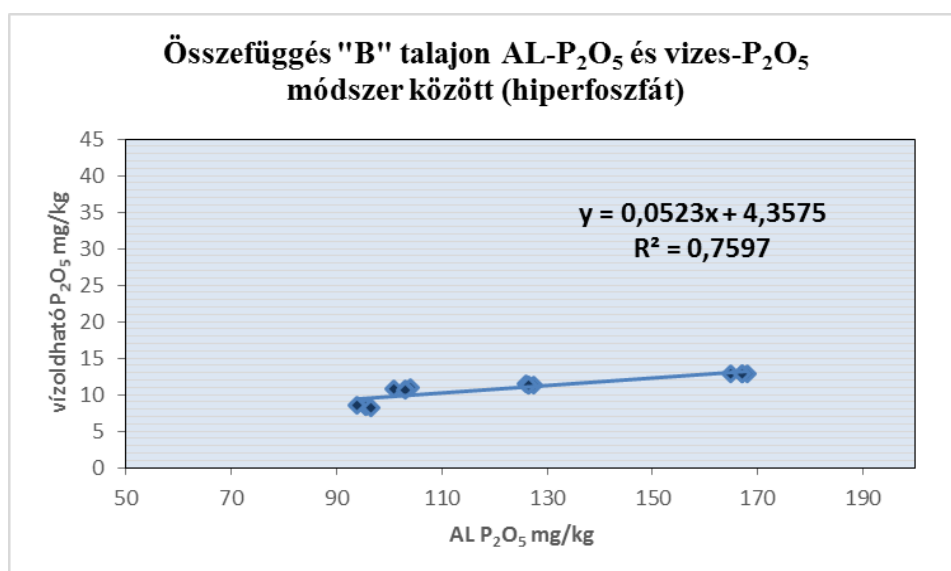
18. ábra: Összefüggés „A” talajon AL-P₂O₅ és vizes P₂O₅ módszer között (szuperfoszfát)



19. ábra: Összefüggés „A” talajon AL-P₂O₅ és vizes P₂O₅ módszer között (hiperfoszfát)



20. ábra: Összefüggés „B” talajon AL-P₂O₅ és vizes P₂O₅ módszer között (szuperfoszfát)



21. ábra: Összefüggés „B” talajon AL-P₂O₅ és vizes P₂O₅ módszer között (hiperfoszfát)

6. táblázat: Összesített táblázat a 2 módszer kapcsolata között:

Módszerek	Szuperfoszfát		Hiperfoszfát	
	Egyenlet (n=28)	R ²	Egyenlet (n=28)	R ²
AL P ₂ O ₅ – Vizes P ₂ O ₅	„A” talaj			
	y=0,3031x-65,565	0,8741	y=0,0458x+13,108	0,9056
AL P ₂ O ₅ – Vizes P ₂ O ₅	„B” talaj			
	y=0,3223x-21,584	0,9874	y=0,0523x+4,3575	0,7597

5. Következtetések

Az inkubációs kísérlet folyamán 2 különböző foszfor műtrágya leköttődését vizsgáltam, állandó hőmérsékleten, eltérő kémhatású talajokon. A felvehető foszfortartalmat 2 különböző kivonószerrel mértem: ammónium-laktáttal és desztillált vízzel.

A vizsgálat elvégzése után, az alábbi eredményeket kaptam:

A növekvő foszforadagok hatása jól látható a kapott eredményeken. A foszfor mennyisége, a nagyobb adagok hatására növekedett mind a két talaj, illetve műtrágya esetében a kontrollhoz képest.

AL módszer esetében, a savanyúbb kémhatású talajban, a hiperfoszfát magasabb adagjánál, a foszfor tartalom jelentősen megnövekedett. Ezzel szemben szuperfoszfát műtrágya alkalmazásával a nagyobb adag, már nem okozott jelentős változást. A magasabb pH-jú talajon eltérő eredményeket kaptam. A szuperfoszfát műtrágyával kezelt talajok mért értékei, minden műtrágya-adag esetében magasabbak, mint hiperfoszfát alkalmazása során.

Vízoldható P_2O_5 mérésekor, a két műtrágya alkalmazása során jelentős különbségeket kaptam. A hiperfoszfáttal végzett kezelések során, a foszfor mennyiségének a növekedése viszonylag kismértékű. Ez mindkét talaj esetében igaz. A szuperfoszfáttal kapott eredmények, viszont jelentősen növekednek, a növekvő műtrágya-adagok hatására. Itt is látható, hogy a magasabb pH-jú talajon a szuperfoszfát nagyobb növekedést eredményezett.

A kapott eredményekből, az alábbi következtetések állapíthatók meg:

A műtrágyák hatóanyagainak leköttődése a talajban fontos tényező a tápanyag visszapótlása során. A kijuttatott műtrágyák foszfor tartalma nem hasznosul teljes mértékben, így az a növények számára nem felvehető.

A hiperfoszfát műtrágyát elsősorban savanyú talajra ajánlják, magas kalcium tartalma miatt. Az AL módszerrel végzett vizsgálataim is alátámasztják ezt, hiszen nagyobb adagnál a foszfor tartalom jelentősen magasabb volt az azonos adagú szuperfoszfát hatásához hasonlóan, a savanyúbb talajon. Ebben nagy szerepe lehet a műtrágyák hatásának a talaj pH-jára. Míg a hiperfoszfát növeli, a szuperfoszfát csökkenti a talaj pH értékét. Szuperfoszfát hatására, tehát a

savanyúbb talaj tovább savanyodik. Így olyan Fe-, és Al-foszfátok keletkeznek melyek közvetlenül nem hozzáférhetőek a növények számára.

A magasabb pH-jú talajon ellenben a szuperfoszfát műtrágya hasznosul jobban. Ennek indoka, hogy a talaj pH-ját olyan irányban módosítja, ahol a növények számára felvehető foszfor mennyisége magasabb. A hiperfoszfát növeli a pH-t, így ennél a talajnál a foszfor-hatóanyag olyan Ca-foszfátokat képez, melyek nem tudnak közvetlenül hasznosulni.

Bár lineáris összefüggés van a vízdoldható P_2O_5 , és az AL oldható P_2O_5 értékei között, az eredmények azonban eltérnek egymástól. A vízdoldható módszer alkalmazásakor, a hiperfoszfát esetében a talaj foszfor-mennyiségének növekedése nem jelentős. Itt is igaz, hogy az alacsonyabb pH-nál, tehát a savanyúbb kémhatású talajban a növekedés magasabb, de a különbség meglehetősen kismértékű. Az eltérés szuperfoszfát alkalmazásakor azonban jóval jelentősebb. A hatóanyag a magasabb pH-jú talajban nagyobb arányban hasznosul, a fentebb leírt hatások miatt.

A kísérleti eredmények lényeges adatokat, információkat nyújtanak a foszfor felvehetőségének szempontjából, így segítik a műtrágyák hatékony, és környezetkímélő alkalmazásának további vizsgálatait, elemzéseit.

6. Összefoglalás

A növények számára a foszfor az egyik legfontosabb tápelem, ezért a megfelelő termésmennyiség és minőség eléréséhez elengedhetetlen hatékony visszapótlása a talajba. A tápanyag-ellátás során, a foszforműtrágyák hatóanyagainak lekötődése jelentős problémát okozhat. A kedvezőtlen átalakulási folyamatok következtében olyan formák keletkeznek, melyek a növények számára nem hasznosíthatóak. Bár később újra felvehető tápanyagokká alakulhatnak, ez rövidtávon gazdasági kárt okoz.

A kutatások eredményei igazolják, hogy a talaj tulajdonságaitól függően az átalakulás mértéke sem azonos, így célszerű különböző tulajdonságú talajokban vizsgálni a foszfor tápelem felvehetőségének alakulását. Az inkubációs kísérletek megfelelőek arra, hogy pontos adatokhoz jussunk a felvehető foszfor mennyiségét illetően, ezért választottam ezt a módszert.

Kísérletemben két különböző műtrágya hatását (szuperfoszfátot, illetve hiperfoszfátot) hasonlítottam össze. A hiperfoszfát műtrágya elsősorban savanyú talajokra ajánlott, ahol a szuperfoszfát a savanyító hatása miatt kedvezőtlen. A kísérlet során két különböző talajt vizsgáltam, melyek kémhatása és foszfor-ellátottsága is eltérő volt. A foszfor kezeléseket 4 növekvő adagban alkalmaztam: 0, 50, 100 és 150 mg/kg P_2O_5 . Minden kezelést 4 ismétlésben végeztem el, majd a mintákat termosztátba helyeztem a 4 hónapos inkubációs időre 15 °C-on. A felvehető foszfortartalom mérésére is eltérő módszereket alkalmaztam. A savas kémhatású AL módszerrel (ammónium-laktát kivonószerrel, pH = 3,7), illetve a semleges vizes kivonatban (módosított Murphy-Riley módszer) mérhető P mennyiségeket hasonlítottam össze.

Az eredmények jól tükrözték a növekvő foszforadagok hatását. A foszfor mennyisége, a nagyobb adagok hatására növekedett mind a két talaj, illetve műtrágya esetében a kontrollhoz képest. A savanyúbb kémhatású talajban a hiperfoszfát magasabb adagjánál a foszfor tartalom jelentősen magasabb volt az azonos adagú szuperfoszfát hatásához hasonlítva. Látható volt az is, hogy a vizes talajkivonatban a szuperfoszfát sokkal nagyobb arányban hasznosul, míg AL módszerrel a hasznosulás mértéke közel azonos. A két módszer között mért értékeknél is jelentős különbség volt. Az AL kivonószerrel az eredmények rendszerint jóval magasabbak voltak a desztillált vizes módszerhez képest.

Kísérletem eredményei lényeges információkat, adatokat szolgáltathatnak a foszfor műtrágyák és hatékony, környezetkímélő alkalmazásuk további elemzéséhez és értékeléséhez.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton is szeretném megköszönni konzulensemnek, Dr. habil Sárdi Katalin egyetemi tanárnak, hogy munkám során rengeteg jó tanáccsal, instrukcióval látott el.

Köszönettel tartozom továbbá Nemes Ágnes laboránsnak, aki a kísérletek elvégzésében és a laboratóriumi vizsgálatok során nyújtott segítséget.

7. Irodalmi jegyzék

Antal J., Barcsák Z., Berki L., Bernáth J., Bényei F., Debreczeni B., Fülekgy Gy., Győri Z., Kárpáti L., Lammel K.-né, Loch J., Lőrincz A., Rajkainé Végh K., Sárdi K., Soós P., Szabó L., Szűcs E., Terbe I., Tolner L. (1999): Tápanyag-gazdálkodás. Mezőgazda Kiadó, Budapest. pp. 45-51., 242-246.

Arnon D. I., Stout P. R. (1939): The essentiality of certain elements in minute quantity for plant with special reference to copper. *Plant Physiol*, vol 14. pp 371-375.

Barrow N. J. (1980): Evaluation and utilization of residual phosphorus in soils. in: F.E: Khasawneh, E.C. Sample, E.J. Kamprath: The role of phosphorus in agriculture. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. pp. 333-359.

Benedek Sz., Fülekgy Gy. (2008): Agrofórum, 2008. 19. évf. 4. szám

Bocz E. (1976): Trágyázási útmutató, Mezőgazdasági kiadó, Budapest, pp. 46-48.

Bóday P., Tóth R. (2012): Környezeti helyzetkép 2011. Központi Statisztikai Hivatal, Budapest. pp. 32-34.

Egnér H., Riem H., and Domingo W.R. (1960): Untersuchungen über die chemischen Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor- und Kaliumbestimmung. *Kungliga Lantbrukshögskolans Annaler* 26. pp. 199-215.

Fertilizer Europe (2007): Estimated consumption of manufactured fertilisers, Eurostat, Luxembourg

Fischer R. A., Yates F. (1957): Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research, 5th ed. Oliver & Boyd, London. pp. 33-48.

Godó Z. (2011): Agro-ökológia. Debreceni Egyetem, Debrecen. pp. 99-102.

Győri D., Palkovics M., Cseh E. (1976): Talajvizsgálatok. Kézirat. Agrártudományi Egyetem, Keszthely. p. 105.

Ige D. V., Akinremi O. O., Flaten D. N. (2007): Direct and indirect effects of soil properties on phosphorus retention capacity. Soil Science Society of America. pp. 95-100.

Johnston A. E., Steen I. (2000): Understanding Phosphorus and Its Use in Agriculture. European Fertilizer Manufacturers' Association. p. 20.

Jones J. B. Jr. (1998): Plant Nutrition Manual. CRC Press LLC, Boca Raton, Florida. p. 40.

Kádár I, Csathó P, Sarkadi J. (1984): A szuperfoszfát tartamhatásának vizsgálata őszi búza-monokultúrában. Agrokémia és Talajtan, Akadémia kiadó, Budapest. pp. 375-385.

Loch J., Nosticzius Á. (2004): Agrokémia és növényvédelmi kémia. Mezőgazda Kiadó, Budapest. pp. 15-19., 81-86.

Mezőgazdasági Statisztikai Évkönyvek (1930-2000), Központi Statisztikai Hivatal, Budapest

Murphy J., Riley J. P. (1962): A modified solution method for the determination of phosphate in natural waters. Analytica Chimica Acta, Volume 27. Department of Oceanography, The University, Liverpool. pp. 31-36.

Pásztor E., Oborny B. (szerk. 2007): Ökológia. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest. pp. 357-358.

Pethő M. (1993): Mezőgazdasági növények élettana. Akadémia Kiadó, Budapest. pp. 210-213.

Ruttenberg K. C. (2003): The Global Phosphorus Cycle. Treatise on Geochemistry volume. Elsevier Ltd, Amsterdam. pp. 585-643.

Sárdi K., Csathó P., Sisák I., Osztóics E., Szűcs P., Balázs Á. (2006): Effects of Laboratory Incubation on the Available Phosphorus Content of Soil. Agrokémia és Talajtan. Pannon Egyetem, Georgikon Kar, Keszthely. pp. 127-134.

Sarkadi J. (1975): A műtrágyaigény becslésének módszerei. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. pp. 55-96.

Stefanovits P., Filep Gy., Fülek Gy. (1999): Talajtan. Mezőgazda Kiadó, Budapest. pp. 176-180.

Syers J. K., Johnston A. E., Curtin D. (2008): Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use; Food and Agriculture Organization of The United Nations pp. 23-26.

Szilágyi F. (2000): Ökológia mérnökök számára. Budapesti Műszaki Egyetem, Budapest. pp. 73-74.

Szűcs I. (2002): Alkalmazott statisztika, Agroinform kiadó, Budapest pp. 54-59.

Tiessen H., Moir J.O. (1993): Characterization of available P by sequential extraction. Soil Sampling and Methods of Analysis. M. R. Carter, Ed., Canadian Society of Soil Science. pp. 75-84.

Internetes források:

INTERNET1: <http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/prokariotak/ch09s04.html>

INTERNET2: <http://clasa11bsammotoare-bodabela.wikispaces.com/file/view/foszfor.ppt>

INTERNET3: <http://perefert.hu/tapelemek-szerepe-a-noevenyek-eletteni-folyamataiban-es-termeskepzesben-szakmai-szemmel-0>

INTERNET4:

http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0010_1A_Book_04_Tapanyaggazdalkodas/ch06s04.html

INTERNET5: <http://www.mutragya.hu/szuperfoszfát>

INTERNET6:

http://agrokerholding.hu/Pages/CikkInfo/?par=120&kat=120&cikkszam=MU210502200&cik_knev=HIPERFOSZF%C1T+26.%2F.+P2O5+%28HIPERCORN%29+50+KG

INTERNET7: <http://cemonterey.ucanr.edu/files/85306.pdf>

INTERNET8: <http://www.donau-chemie.com>

NYILATKOZAT

Aláírással nyilatkozom arról, hogy a dolgozat saját munkám, a felhasznált irodalmat korrekt módon kezeltem, továbbá a munkámra vonatkozó jogszabályokat betartottam.

Dolgozatom elektronikus és nyomtatott változata mindenben megegyezik.

Készthely, 20.....

aláírás