

## Biokol som jordförbättring i en mineraljord

*Biochar as soil amendment in a mineral soil*



*Försöksupställningen, i förgrunden bondbönor och längre bort morötter.*

*Foto: Jonas Skytte af Sätra*

Alnarp, 2010

Författare: Jonas Skytte af Sätra

Självständigt arbete vid LTJ-fakulteten, 15hp

Hortonomprogrammet

Område hortikultur, LTJ-fakulteten, Sveriges lantbruksuniversitet

*SLU, Sveriges lantbruksuniversitet*

LTJ -fakulteten, Område hortikultur

Författare: Jonas Skytte af Sättra

Titel: Biokol som jordförbättring i en mineraljord / Biochar as soil amendment in a mineral soil

Nyckelord: biokol, växtnäring, bondböna, morot

Handledare: Hans Lindqvist (SLU, Område hortikultur)

Examinator: Håkan Asp (SLU, Område hortikultur)

Kurstitel: Examenarbete inom Hortonomprogrammet

Kurskod: EX0369

Omfattning på arbetet: 15hp

Nivå: Grund C

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsår: 2010

Serie: Självständigt arbete vid LTJ-fakulteten

Program: Hortonomprogrammet

Publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: biokol, jordförbättring, morot, bondböna

## **Förord**

Författaren vill rikta ett tack till sin handledare för hjälp och stöd under arbetets gång. Ett stort tack går också till alla andra som hjälpt mig och svarat på mina frågor, även om ni är för många för att nämnas vid namn.

## 1. Sammandrag

Vid studier av amazonas mörka jordar, *Terra preta*, har det visat sig att deras högre bördighet jämfört med omgivande områden till stor del kan sammankopplas med höga halt av pyrolyserat organiskt material, dvs. biokol. Vissa förespråkare menar att biokol skulle kunna användas i stor omfattning världen över för att öka markens bördighet men också för att binda in kol från atmosfären.

Biokol har relativt hög katjonbyteskapacitet och kan också förbättra markstrukturen. Som en följd av detta kan det, främst i sandjordar, öka näringstillgängligheten, den vattenhållande förmågan samt minska kväveläckage. Dessutom har studier visat att biokol har god förmåga att minska läckage av växtskyddsmedel. Vissa studier har dock visat att biokol kan påskynda nedbrytningen av jordens resterande organiska material.

Denna studie innefattar ett försök i en mineraljord med och utan tillsats av 0,6 Mg/ha NPK(11-5-18) respektive 0,5 Mg/ha biokol. I jorden odlades morötter (*Daucus carota ssp. sativus*) respektive bondbönor (*Vicia faba*) i två serier under 10 veckor i växthus.

Biokolet hade ingen signifikant inverkan på biomassan och inte heller på de kemiska analyser av substraten som gjordes (ammonium-laktat-analys (AL) samt mätning av effektiv katjonbyteskapacitet). I

vissa aspekter kunde dock trender skönjas, men utan statistisk säkerhet. Däremot ledde tillsats av NPK till signifikant lägre pH-värde och minskad katjonbyteskapacitet.

Vad gäller biokolet hade det åtminstone inte någon signifikant negativ inverkan på skörden hos de två grödorna. Det skulle alltså kunna vara en mängd som kan användas i för att binda in kol från atmosfären utan större negativa biverkningar, även om vidare studier behövs för att visa detta, främst i mullhaltiga jordar.

Vidare studier skulle också behövas för att fastslå vilka mängder som krävs för att förändra olika jordars egenskaper och hur biokolets eventuella interaktion med marken förändras med tiden vid normalt odlingsförfarande.

## Abstract

Studies of the dark earths of amazonas, *Terra preta*, has shown that their increased fertility compared to surrounding areas is mainly due to their high content of pyrolysed organic matter, e.g. biochar. Some advocates propose that biochar could be widely used globally as a soil amendment to increase soil fertility but also as a means for sequestering carbon from the atmosphere.

Biochar has a high cation exchange capacity and also the ability to improve soil properties. Due to this some improvements are found, especially in sandy-soils, as increased nutrients availability, increased water holding capacity and decreased nitrogen leaching. Furthermore biochar has been shown to be able to decrease leakage of pesticides. On the other hand, studies are showing that biochar has the ability to speed up mineralization of other soil organic matter.

This work comprise an experiment in a mineral soil with and without addition of 0,6 Mg/ha NPK-fertilizer (11-5-18) respectively 0,5 Mg/ha biochar. In these substrates carrots (*Daucus carota ssp. sativus*) and broad bean (*Vicia faba*) were cultivated in separate series during 10 weeks in a greenhouse.

It can be concluded that biochar had no significant effect on the production of biomass and neither did it affect the results of the chemical analysis that were made (ammonium-lactate-analysis and measuring of effective cation exchange capacity). In some cases there were indications of effects, however not significant. On the other hand addition of fertilizer led to increase in dry biomass production as well as lowered pH-value and decreased cation exchange capacity.

When it comes to the biochar it didn't at least affect the yield in a significant negative way in either crop. This could therefore be a "safe" amount of biochar to use for the purpose of carbon



sequestration. However further studies is needed to prove this, primarily in soils high in soil organic matter. Further investigations are needed to determine which levels of biochar amendment that is necessary to alter the properties of different soils as well as how eventual interaction changes over time during normal cultivation practice.

## Innehållsförteckning, rubrik och sida

|  |    |
|--|----|
| Förord.....  | 3  |
| 1. Sammandrag.....                                     | 3  |
| Abstract.....  | 4  |
| Innehållsförteckning, rubrik och sida .....            | 4  |
| 2. Introduktion.....                                   | 6  |
| 2.1. Bakgrund.....                                     | 6  |
| 2.2.1 Organiskt materials inverkan på bördigheten..... | 7  |
| 2.2.2 Biokolets relation till organiskt material ..... | 7  |
| 2.2.3 Läget i Sverige.....                             | 8  |
| 2.3.1 Inverkan på kolbalansen.....                     | 9  |
| 2.3.2 Inverkan på bördighet.....                       | 9  |
| 2.3.2.1 Uppbyggnad.....                                | 9  |
| 2.3.2.2 Vattenretention och komplexbildning.....       | 10 |
| 2.3.2.3 Katjonbyteskapacitet.....                      | 10 |
| 2.3.2.4 pH.....  | 11 |
| 2.3.2.5 Bindningsförmåga.....                          | 11 |
| 2.3.2.6 Näringsinnehåll.....                           | 11 |
| 2.4 Sammanfattning ur frågeställningsperspektiv .....  | 12 |
| 2.5.1 Motivering av försöksvariabler .....             | 12 |
| 2.5.2 Morot och bondböna .....                         | 12 |
| 2.5.3 Mätning.....                                     | 12 |
| 3. Material och metoder.....                           | 13 |
| 3.1. Biokol.....                                       | 13 |
| 3.2. Substratet.....                                   | 13 |
| 3.3. Växtnäring.....                                   | 13 |
| 3.4. Vattning och odlingskärl.....                     | 14 |
| 3.5 Växtplatsen.....                                   | 14 |
| 3.6. Morot.....  | 14 |
| 3.7. Bondböna.....                                     | 14 |
| 3.8. Odlingsförsöket.....                              | 15 |
| 3.9. Mätning av torrsubstans.....                      | 15 |
| 3.10. Substratprover.....                              | 15 |
| 3.11. Statistiska beräkningar .....                    | 16 |
| 3.12. Störning.....                                    | 16 |
| 4. Resultat.....                                       | 16 |
| 4.1 Torrsubstans.....                                  | 16 |
| 4.2 eCEC.....  | 18 |
| 4.3 AL-extraktion av substratet.....                   | 19 |
| 5. Diskussion.....                                     | 21 |
| 5.1. Torrsubstans.....                                 | 21 |
| 5.2. eCEC.....   | 22 |
| 5.3. AL-analys.....                                    | 22 |
| 5.4. Generellt.....                                    | 23 |
| 5.5. Slutsatser.....                                   | 23 |
| 5.6. Fortsatt arbete.....                              | 24 |
| Referenslista:.....                                    | 25 |
| Elektroniska källor:.....                              | 28 |
| Personlig kommunikation:.....                          | 29 |

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| Bilaga 1. Rådata.....           | 30 |
| Bilaga 2 Jordartsklassning..... | 36 |

## 2. Introduktion

### 2.1. Bakgrund

En rad studier av Sydamerikas mörka jordar, *Terra Preta de Indio*, har indikerat att deras högre bördighet jämfört med kringliggande jordar till stor del beror på höga halter ”svart kol” (Liang et al. 2006; Marco et al. 2007; Glaser et al. 2002). Det vill säga kol från ofullständig förbränning av organsikt material. Vidare har bland annat Torn et al. (1997) visat att ”svart kol” bryts ned mycket långsamt under naturliga förhållanden. Kuzyakov et al. (2008) uppskattade biokols nedbrytningstid under optimala förhållanden till 0,5 % per år, och en halveringstid på ca 1400 år. Detta kan jämföras med nedplöjd halm som enligt Eriksson et al. (2005) kan brytas ned till 50 % redan under den första månaden i en biologiskt aktiv jord.

Detta har lett till antaganden om att kunna använda biokol för att långsiktigt fixera kol från atmosfären. Det skulle också kunna innebära att biokol kan användas för att på lång sikt höja humushalten i jorden, med alla fördelar det för med sig.

Den här studien kommer att behandla hur biokol skulle fungera som jordförbättringsmedel i en svensk kontext. Möjligheten att använda biokol som kolsänka för att minska koldioxidhalten i atmosfären kommer däremot inte att behandlas vidare.

### 2.2.1 Organiskt materials inverkan på bördigheten

Ökade halter organisk materia har enligt Eriksson et al. (2005) positiva fysiska egenskaper på nästan alla jordar, ur ett odlingsperspektiv. I en grov jord med lite ler förbättras aggregatstrukturen, och i en lerig jord luckrar det organiska materialet upp jorden och underlättar för rötternas genomträngning. Likaså inverkar organiskt material på jordens kemiska egenskaper genom hög förmåga att binda till sig växnäringsämnen, reglera pH och till viss del absorbera giftiga substanser. Organiskt material innehåller också en rad näringsämnen som mineraliseras vid nedbrytning, något som också är en viktig orsak till uppkomsten av reducerande förhållanden i marken.

### 2.2.2 Biokolets relation till organiskt material

Markens organiska material (Soil organic matter, SOM) klassificeras i olika fraktioner. Detta görs enligt Horwath (2007) genom att humus löses i en stark bas, exempelvis NaOH eller  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ , följt av förurning.

\*Den fraktion som inte extraheras av den starka basen klassas som humin.

\*Humussyra å andra sidan löses i basen men fälls ut när pH sänks till <2.

\*Fulvosyran däremot faller inte ut av pH-sänkning.

En del humus kan dock finnas kvar i huminet, skyddat som mineralassocierade humusämnen. Förbehandling med vätefluorid för att degradera lermineraler kan resultera i 90-95% extraktion, återstående C kallas för svart kol (inklusive träkol) eller syraresistanta vaxiga ämnen. Uttrycket svart kol är dock opraktiskt i sammanhanget eftersom det, enligt Sohi et al. (2009), innefattar ett stort spektrum av material som härstammar från ofullständig förbränning av organiskt material.

Biokol är en produkt som, enligt International Biochar Initiative (u.å.), produceras genom att ett C-rikt material upphettas med begränsad tillgång på syre och en temperatur under 700°C. Den skiljer sig från träkol genom att det produceras med avsikt att användas som jordförbättringsmedel eller kolsänka. Träkol har en något snävare definition. Enligt Sohi et al. (2009) används uteslutande trä som råvara och en kolningstemperatur begränsad till 400-500°C. Träkol och biokol delar emellertid huvuddrag som nedbrytningsmotstånd och inverkan på jord. Eftersom träkol kan sägas vara ett specialfall av biokol kommer härnäst termen biokol att användas.

De tre huvudsakliga faktorerna som påverkar biokolets egenskaper är: (i) ursprungsmaterial, (ii) processmiljö som temperatur och luft samt (iii) tillsatser under kolningsprocessen (Glaser et al. 2002).

Författaren har inte för avsikt att gå in på djupet kring hur de olika faktorerna samverkar, men konstaterar ändå att en del studier har publicerats där olika ursprungsmaterial används för att utröna vilka som skulle vara intressant för respektive lands lokala marknad.

### **2.2.3 Läget i Sverige**

Enligt Pettersson & Eriksson (1993) var industriländernas skördar, år 1993, ca 5 ggr större än före industrialisering. Den hade då i många fall fördubblats sedan 1950-talet. Under den tiden har markens bördighet ökat väsentligt samtidigt som jordbrukets skador på omgivningen ökat genom bland annat näringsläckage och packskador. Trots den ökade bördigheten har i många fall att mullhalten i jorden sjunkit. De negativa effekterna av detta döljs emellertid av bättre växtmaterial, effektivare växtskyddsåtgärder och förbättrade växtnäringstillstånd med hjälp av handelsgödsel.

Global Phosphorus Research Initiative (2009) varnar emellertid för att världens fosfortillgång kan komma att minska i framtiden och att tillgången på handelsgödsel överlag är beroende av billig energi, företrädesvis genom petroleumprodukter.

Enligt Eriksson et al. (2005) resulterar nedplöjning av skörderester i att markens procentuella humushalt höjs med bara 0,02-0,03 %. Nedplöjd halm kan brytas ned till 50 % av mängden efter bara en månad i en biologiskt högaktiv jord. Halterna av SOM i Sveriges jordbruksmark varierar

men generellt har Norrland, Smålands inland och västkusten hög andel SOM medan slättmarkerna, främst Skåne, har lägst. Detta beror i respektive fall främst på skillnader i vattentillgång och temperatur.

Dessutom kan den globala uppvärmningen väntas resultera i ökad markandning och snabbare nedbrytning av organsikt material (Alsanius et al. 2008).

### **2.3.1 Inverkan på kolbalansen**

Eftersom biokol har visat sig ligga stabilt i jorden under lång tid (Torn et al. 1997) har man förhoppningar om att kol ska kunna användas för att långsiktigt öka C/N-kvoten. Dock har Wardle et al. (2008) i försök på boreal skogshumus visat att biokol ökar nedbrytning och mikrobiell aktivitet.

Däremot har Pietikäinen et al. (2000) visat att biokol också förändrar mikroorganismernas samhällssammansättning. En sådan förändring skulle kunna minska nedbrytningen om t.ex. mykorrhizasvampar favoriserades i samhället. Marco et al. (2007) kunde däremot inte se att tillsats av biokol ökade antalet sporer eller rotkolonizationer av mykorrhizasvampar, vilket eventuellt skulle tala emot en sådan förskjutning.

Man har med andra ord väldigt liten kunskap om hur biokol samverkar med naturligt förekommande humusämnen. Det finns en viss risk att bördiga humusrika jordar skulle utarmas vid tillsats av biokol. Paul et al. (2009) varnar också för att kontinuerlig tillsats av biokol skulle kunna resultera i en kraftig uppförökning av de mikroorganismer som kan bryta ned biokol.

### **2.3.2 Inverkan på bördighet**

Glaser et al. (2002) gjorde en litteraturstudie på tidiga försök med biokol som jordförbättringsmedel. Det visade sig då att redan en liten mängd tillsatt biokol (0,2-135,6 Mg/ha) kunde öka produktionen av biomassa, i ett fåtal fall kunde en stor mängd biokol dock minska skörden. Senare studier av Lehmann et al. (2003) har visat att biokol tillsammans med gödsel/växtnäring ger ännu bättre resultat.

Det bör dock påpekas att biokol skiljer sig från annan humus i det avseendet att den långa nedbrytningstiden gör att det inte bidrar med någon egen näring till marken. Biokol bör alltså inte ses som en ersättare för, utan som ett komplement till, annat organiskt material.

Nedan följer en genomgång av biokols egenskaper.

### 2.3.2.1 Uppbyggnad

Enligt Liang et al. (2006) består biokol till stor del av högaromatiskt C. Längre ut från kolpartikelns kärna ökar successivt oxidationen, främst antalet karboxylgrupper. Korttidsförsök av Cheng et al. (2006) har visat att oxidering främst beror på abiotiska faktorer.

Enligt Keiluweit et al. (2010) kan biokol emellertid delas in i fyra olika kategorier med olika kemiska faser och fysiska tillstånd. Vilka egenskaper dessa fyra olika grupper har och hur de beter sig i marken återstår dock att se.

Merparten av kolpartiklarna som finns naturligt i jorden är mindre än  $<53\mu\text{m}$  ( Skjemstad et. al. 1996). Vidare hävdar Sohi et al. (2009) att storleken på biokolpartiklar i marken relativt snabbt minskar för att koncentreras ned till den fraktionen. Det skulle i sådana fall innebära att storleken på kolpartiklarna som tillsätts jorden har relativt liten betydelse, och man skulle i sådana fall kunna anpassa storleksfraktionen för maximal hanterbarhet och arbetsmiljöhänsyn. Vissa egenskaper kan också bero på partiklarnas förmåga att fylla och skapa makroporer i marken, och det vore då intressant att studera hur det förändras med tiden.

### 2.3.2.2 Vattenretention och komplexbildning

Tryon (1948) studerade hur biokol påverkade mängden tillgänglig fukt i jorden. I sandiga jordar ökade den, i lättleror jordar var den opåverkad och i styva leror minskade den med ökande mängd tillsatt biokol. Orsaken tillskrivs biokolets hydrofobicitet, och förbättrad vattenhållande förmåga kan bara förväntas i grova jordar med mycket makroporer.

Brodowski et al. (2007) såg att svart kol med ökat markdjup i ökad grad fanns bundet till storleksfraktioner av grov silt och sand. Troligen är det i dessa organ-mineralkomplex som kolet skyddas från nedbrytning och hålls bundet under lång tid.

Piccolo et al. (1997) gjorde försök på olika lättleror från medelhavsområdet och såg att små mängder (0,1-0,2Mg/ha) signifikant ökade aggregatstabiliteten i alla undersökta jordar. Dessutom minskade den deaggregerande effekten av cykliskt återkommande torkning och uppfuktning.

### 2.3.2.3 Katjonbyteskapacitet

Enligt Lehmann et al. (2003) tros biokols höga katjonbyteskapacitet (cation-exchange capacity, CEC) vara den egenskap som i störst utsträckning bidrar till dess inverkan på markens näringsämnen.

Biokol har en relativ hög CEC och Liang et al. (2006) har konstaterat att den ökar genom oxidation och bildning av karboxylgrupper. Oxidering går dock långsamt under naturliga förhållanden, och



CEC är en egenskap som kan väntas öka med tiden. Svart kol kan också binda starkt oxiderade humusämnen till sig.

Enligt Eriksson et. al (2005) binder humusens karboxylgrupper in till oxider, ex. järn- och aluminium-hydroxid. Dessa oxider bildar annars lätt komplex med bl.a. fosfor som gör densamma svårtillgänglig. Humus är därför viktigt för att bibehålla en god näringstillgång, och författaren anser det vara rimligt att anta att biokolets karboxylgrupper fungerar på ett liknande sätt.

#### **2.3.2.4 pH**

Enligt Glaser et al. (2002) har ett antal studier visat att tillsatser av biokol i jordar höjer markens pH. Effekten var större i sandiga och lättleror än i styva leror. Zweiten et al. (2010) såg också att biokol kunde ha en pH-höjande effekt, troligen på grund av kalkkomplex härrörande från ursprungsmaterialet.

Man kan också vänta sig en långsiktig inverkan på markens pH. Eftersom biokolet (Cheng et al. 2006) oxideras bildas karboxylgrupper. Dessa påverkar inte bara CEC utan gör också kolpartikeln sur vilket påverkar markens pH.

#### **2.3.2.5 Bindningsförmåga**

Biokol har förmågan att, förutom oxider och kväve, också absorbera metalljoner, löst organiska materia, lösta organiska näringsämnen, polära ämnen, ex. polära organiska pesticider, och hydrofoba ämnen som t.ex. polycykliska aromatiska kolväten (PAH), lignin och tannin (Glaser, Lehmann & Zech 2002).

Tian et. al. (2010) har i ett försök visat att biokol skulle kunna användas för att hindra spridning av pesticiden isoproturon i marken.

#### **2.3.2.6 Näringsinnehåll**

Biokol innehåller varierande mängder aska som i sin tur tillför fria baskatjoner som kalium, kalcium och magnesium till marken (Glaser et al. 2002). Sohi et al. (2009) sammanfattade den forskning som gjorts för att ta reda på vilka giftiga ämnen biokol kan innehålla. Den har fokuserats på PAH och dioxiner. I de fall man funnit spår av dessa ämnen har de varit lägre än i aska från vanlig skogsbrand eller de naturliga halterna i jorden. Det är dock osäkert hur dessa ämnen agerar i marken, men inga studier har visat på urlakningsbara halter av PAH. Dioxiner bildas vid temperaturer över 1000°C och inga studier har visat på deras närvaro i biokol.

Ytterligare en fördel som påpekats av Tsukagoshi et al. (2010) är att biokol, till skillnad från de skörderester den kan produceras av, är steril och inte bidrar till uppförökning av markburna patogener. Man har i försök med sallat även visat att biokol minskar tillväxthämningen vid flera efterföljande monokulturer i samma substrat.

## **2.4 Sammanfattning ur frågeställningsperspektiv**

Sammantaget kan man säga att biokol framför allt skulle passa som jordförbättringsmedel i sandiga jordar. Dessa har problem med ammoniumläckage i form av utlakning vid stark gödsling, speciellt vid flytgödsling (Eriksson et al. 2005). Det är också i sandjordar biokol har visat sig kunna förbättra jordens vattenhållande förmåga.

### **2.5.1 Motivering av försöksvariabler**

Till försöket valdes att testa om 0,5 Mg biokol per hektar har någon inverkan på markens bördighet. Mängden baserades på Kishimoto och Sugiura's (1985 se Glaser, Lehmann & Zech 2002) försök med sugiträd i en mellanlera där 0,5 Mg gav en ökning av biomassa med 249 %. För det här försöket har bördighet definierats som markens inneboende förmåga att producera biomassa. En del av biokolets bördighetshöjande effekten har tillskrivits vattenretentionen, men eftersom den kan bero på partikelstorleken som i sin tur förändras, har jag i försöket valt att utesluta vattentillgång som begränsande faktor.

Kulturtiden begränsades till 10 veckor på grund av terminstiden.

### **2.5.2 Morot och bondböna**

Morot är enligt SJV (2007) Sveriges viktigaste frilandsgroönsak. År 2005 uppgick produktionen till 96228 ton, vilket motsvarar 44 % av segmentets kvantitet och en självförsörjningsgrad på över 90 %. Produktionen upptog vid samma tid 25 % av den totala arealen för köksväxtodling på friland, det vill säga 1763 ha. Till morotsodling rekommenderas dessutom mulljord eller sandjord (Adelsköld 1991), och eftersom biokol visat goda effekter på den senare bedömdes morot än mer intressant som testgröda.

Bondböner representerar de kvävefixerande växterna som odlas antingen för sina frukter eller som ren grüngödsling. Genom sin symbios med kvävefixerande bakterier kan de föjlaktligen gynnas i högre grad än andra grödor av biokol då de inte torde påverkas lika mycket av den minskade kvävetillgängligheten.

### 2.5.3 Mätning

Från morötterna kommer pålrotens torrmasa att mätas eftersom resten av växten är tämligen ointressant ur ett produktionsperspektiv. I bondbönornas fall kommer torrmassan av de ovanjordiska delarna att vägas. Främst eftersom det kan vara svårt att få upp alla rotdelar utan att förstöra substratet som sedan ska skickas på analys.

Efter skörden görs en ammonium-laktat-analys(AL-analys) på substraten. AL-analyser används för att bedöma substratets förmåga att tillhandahålla näring över en längre tid (Alsanius 2006). Den används här för att ge ett mått på hur markens långsiktiga bördighet påverkas av substratbehandlingarna.

Även substratens effektiva katjonbyteskapacitet(eCEC) mäts för att utröna om biokolet påverkat substratets katjonbyteskapacitet. Katjonbyteskapacitet kan mätas på en mängd olika sätt beroende på jordartens egenskaper. I det här fallet valdes den effektiva katjonbyteskapaciteten som teoretiskt definieras som summan av ammoniumacetatutbytbara baskatjoner och 1  $N$  kaliumkloridextraherbart aluminium (Tan 1998).

## 3. Material och metoder

### 3.1. Biokol

Biokolet som användes var grillkol köpt i handeln, av märket Skogens kol. Det är baserat på lövträ, som kolas industriellt med en total processtid på 24 timmar (Skogens kol 2004). Temperaturen ligger på 300-500 °C under själva processen (Larsson 2010). Ugnarna är så gott som helt luftfria, och har ett lätt undertryck på ca 10 Pa.

Inför inblandningen i substratet finfördelades kolet manuellt till en partikelstorlek som okulärt bedömdes vara <15 mm. Det blandades sedan in i substratet innan de hälldes upp i krukorna.

Träkol av samma märke har i tidigare försök av Almers (2009) visat sig ha en specifik yta på 8,1m<sup>2</sup>/g när det finfördelats till en storleksfraktion på <4 mm.

### 3.2. Substratet

Som substrat användes en syntetiskt blandad mineraljord efter följande recept från Mats Kron på Bara Mineraler (personlig kommunikation): 60% Heklagreen (pimpsten med en storleksfraktion på 0,5-3 mm), 40% sand (Baskarpssand 55). I denna blandning tillsattes lergranulat med 50 kg/m<sup>3</sup>.

### 3.3. Växtnäring

Som växtnäring användes NPK granulat, ProMagna 11-5-18 från Yara. Det är anpassat för

grönsaker och innehåller förutom kväve, fosfor och kalium också vattenlöslig magnesium, svavel, bor, mangan, koppar, järn, molybden och zink samt har en låg klorhalt (Yara u.å.).

Eftersom substratet bedömdes vara extremt näringsfattigt fick varje kruka en liten startgiva á 1,18 g som skulle motsvara 25 % av en normalgiva för morötter, vilket bedömdes vara lämpligt. Näringen till denna grundgiva mortlades och löstes i 3 dl vatten innan de vattnades ut i krukorna.

De krukor som fick en extra näringsgiva som behandling fick det i granulatform á 4,8 g/kruka, vilken myllades ner för hand till ca 5 cm djup i samband med sådden.

### **3.4. Vattning och odlingskärl**

Plantorna vattnades ovanifrån ungefär tre gånger i veckan, med sådan mängd att jorden vid sensorisk kontroll uppfattades som fuktig.

Odlingskärilen var begagnade, rengjorda och tillverkade av ett okänt kartongliknande material. De hade en toppyta på 8 dm<sup>2</sup>, en höjd på 24 cm och en volym på ca 13 dm<sup>3</sup>. I botten på varje kruka fanns två dräneringshål med diameter på cirka 2cm. Samtliga krukor fylldes till bredden med substrat.

### **3.5 Växtplatsen**

Odlingsförsöket ägde rum på sandbädd i ett växthus med tilläggsbelysning i form av högtrycksnatriumlampor som användes vid behov. Dagslängden var 16 timmar, dagstemperaturen ca 20 °C och nattetemperaturen ca 16 °C. Den relativa luftfuktigeten låg på 50 - 60 %.

### **3.6. Morot**

Frön till morot (*Daucus carota* ssp. *sativus* 'Napoli F1') köptes i handeln av märket Weibulls. Enligt förpackningen är detta en extra tidig sort som trivs bäst i sandig eller mullrik jord och med en grobarhet på 65 % (Weibulls u.å.). Den valdes för att hinna utvecklas så långt som möjligt på den relativt korta försökstiden.

### **3.7. Bondböna**

Frön av bondböna (*Vicia faba* 'Hangdown') köptes i handeln av märket Weibulls. Enligt förpackningen hade de en grobarhet på 80 % (Weibulls u.å.). Eftersom substratet inte kunde förväntas innehålla passande kvävefixerande bakterier behandlades utsädet med därför avsett inokulat före sådd. Mängden inokulat var kraftigt överdimensionerat i förhållande till mängden

utsäde. Inokulatet hade dock förvarats i rumstemperatur istället för i kylskåp i ungefär en vecka, vilket kan ha påverkat kvaliteten negativt.

### **3.8. Odlingsförsöket**

För bondbönor och morötter blandades fyra olika substrat, med respektive fyra replikat. Dessa behandlingar var:

1. Substrat, benämns med suffixet -II
2. Substrat + träkol, benämns med suffixet -KI
3. Substrat + NPK, benämns med suffixet -IN
4. Substrat + NPK + träkol, benämns med suffixet -KN

Behandlingsbenämning för bondböna och morot har prefix B- respektive M-. Substratet blandades och uppfuktades i cementblandare. Blandningen skedde i fyra omgångar, två med kol och två utan. Träkolet tillsattes motsvarande 0,5 Mg/ha räknat på krukornas topparea (4,05 g/kruka). Krukorna placerades ut i fyra randomiserade block per gröda efter Englund (2006). Krukorna vattnades sedan upp och tillsattes gödsel varefter fröna planterades på det djup förpackningarna angav.

Till sist planterades 16 morotsfrön respektive tre bönor i varje kruka och lamparmaturen justerades så att lampskärmarna befann sig 1 meter ovanför krukornas övre kant.

Efter drygt tre veckor gallras morötterna till 10 plantor/kruka och bondbönorna till 2 plantor/kruka. De plantor som bedömdes minst livskraftiga togs bort och i möjligaste mån togs även rötterna bort, även om viss hänsyn till täthetens togs för morötterna. Vid samma tillfälle höjdes lamparmaturen till 1,2 meter över krukkanterna för att lämna utrymme åt bondböneplantorna.

Efter fem veckor binds bönplantorna upp mot bambupinnar eftersom en del hade lagt sig ner.

### **3.9. Mätning av torrs substans**

Morötter och bönor skördades, torkades i cirka 36 h vid 70 °C och vägdes därefter krukvis.

### **3.10. Substratprover**

Substratprover togs enligt en modifierad version av Alsanius (2006) substratprovtagning i containerodling. De översta 10 cm av substratet plockades bort, därefter samlas substrat från kärlväggen. Grova växtrester plockas bort. Från varje replikat samlas 0,5 l substrat, dessa fyra prover per behandling blandas sedan till ett generalprov per behandling och gröda. Från

generalprovet samlas delprover i plastpåsar att använda till olika analyser.

Den effektiva katjonbyteskapaciteten bestämdes efter en något modifierad version av Henriksson (1995). Substratproven torkades under 48 h vid 105 °C, därefter vägdes 5,0 g upp av respektive prov. Substratproverna slammades därefter upp i lösning, 20ml 0,5 M  $\text{CaCl}_{2(aq)}$ , under 30 min. Vätskan från uppslamningen filtrerades därefter av, varvid tre 10 ml portioner 0,5 M  $\text{CaCl}_{2(aq)}$  filtrerades över substratprovet. På så sätt antogs kalciumjonerna ha förträngt alla andra katjoner i substratet. Sedan sköljdes substratet med avjonat vatten tills filtratet inte längre visade reagens på kloridjoner vid tillsats av 0,1 M  $\text{AgNO}_{3(aq)}$ , alla fria kalciumjoner bedömdes då också vara bortsköljda. Därefter förträngdes de bundna kalciumjonerna genom att 5st 10 ml portioner 1 M  $\text{NH}_4\text{Cl}_{(aq)}$  filtrerades över substratet. Filtratet samlades upp och späddes till 100ml. Av filtratet togs ett mindre prov som skickades till LMI AB för bestämning av kalciumhalten.

Substratprover skickades till LMI AB för AL-analys.

### 3.11. Statistiska beräkningar

För statistisk analys antogs torrsubstanserna vara normalfördelade. Lämpliga beräkningar för blockförsök gjordes i Minitab 15, enligt Englund (u.å.). För att jämföra behandlingarna användes General Linear Model (GLM) med Tukey's simultana konfidensintervall på 95 % nivå.

Medelvärden beräknades med least squares means och figurer ritades som interaction plot's.

Signifikans för pH, eCEC och substratens näringsinnehåll beräknades genom trevägs-GLM där mätvärdena plottades mot de binära variablerna kol/inte kol, NPK/inte NPK och Morot/Bondöna.

I förekommande fall beräknades standardavvikelsen med miniräknare.

### 3.12. Störning

Drygt sju veckor in i försöket upptäcktes ett svampangrepp på bondbönsplantorna. Som motåtgärd tändes en svavellampa under resten av försöket.

Vid torkningen av grödorna blev fyra replikat av morötter förstörda och kunde inte användas till vägningen.

## 4. Resultat

### 4.1 Torrsubstans

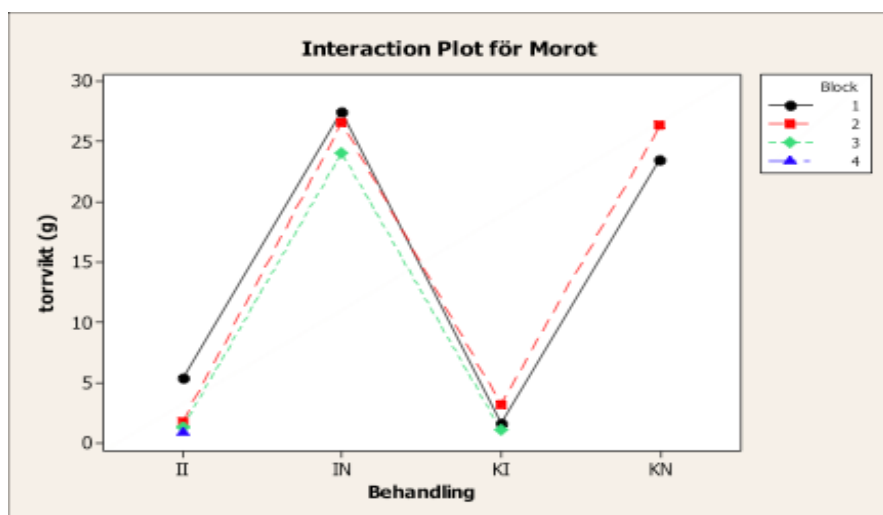
Generellt för både morötter och bondbönor gav tillsats av NPK en signifikant ökning av torrsubstansen. Hos morötter var skillnaden cirka 12 gånger och hos bondböna cirka 1,5 gång.

Tillsats av biokol i substratet gav dock ingen signifikant förändring av torrsubstansen. Däremot låg alla biokolsbehandlingar något under sina biokolsfria motsvarigheter. Torrsubstansen för bondböna från behandlingen biokol utan näring var dock större än den från bondböna utan biokol och utan näring, även om skillnaden inte var signifikant. Den förra hade dock en tydligt avvikande observation.

Det fanns ingen signifikant skillnad morotsblocken sinsemellan ( $p=0,309$ ). Behandlingarna skiljde sig signifikant från varandra ( $p=0,000$ ). Anova-tabellen hade ett Error-värde på 5. Se tabell 1 och figur 1.

Tabell 1. Medelvärden och standardavvikelse av torrsubstansen (g) från morötternas pålrot med fyra olika substratbehandlingar, II, KI, IN och KN. Signifikanta skillnader beräknades med Tukey's simultana konfidensintervall på 95 %. De behandlingar som har samma bokstav är inte signifikant skilda från varandra, n anger faktiskt antal observationer.

| Behandling | n | medelvärde | stdav | bokstav |
|------------|---|------------|-------|---------|
| MIN        | 3 | 25,505     | 1,76  | a       |
| MKN        | 2 | 23,677     | 2,02  | a       |
| MII        | 4 | 2,325      | 2,07  | b       |
| MKI        | 3 | 1,465      | 1,08  | b       |



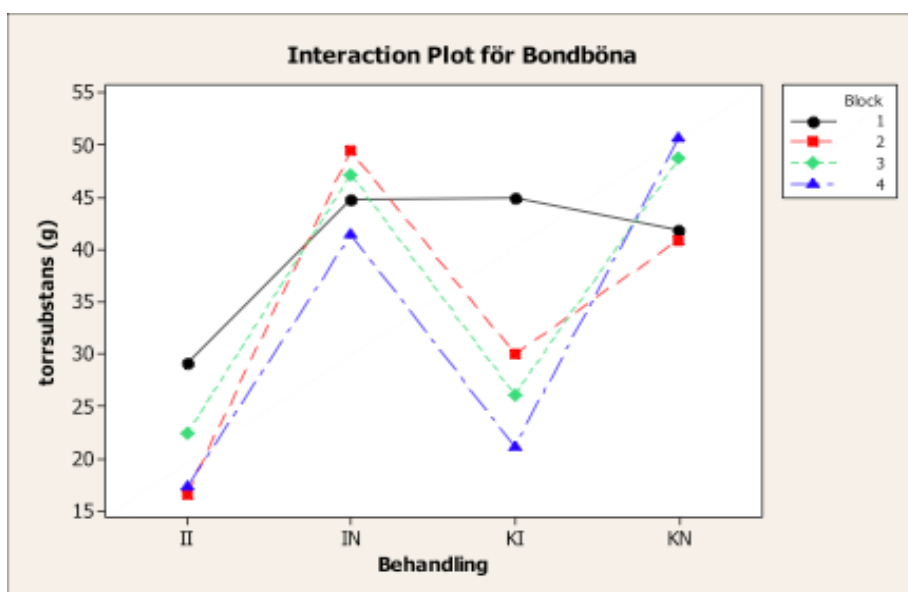
Figur 1. Torrsubstansen av morötternas pålrot för substratbehandlingarna II, KI, IN och KN.

Bondbönornas block skiljde sig inte signifikant från varandra ( $p=0,448 >> 0,05$ ). Mellan behandlingarna fanns däremot signifikanta skillnader ( $p=0,001 << 0,05$ ), dessa fanns mellan NPK-behandlingarna. BKI från block 1 avvek med en standardiserad residual på 2,01. Anova-tabellen hade ett medelfelsvärde på 9. Se tabell 2 och figur 2.



Tabell 2. Medelvärden och standardavvikelse av torrsubstansen (g) från bondbönornas ovanjordiska delar med substratbehandlingarna II, KI, IN och KN. Signifikanta skillnader beräknades med Tukey's simultana konfidensintervall på 95 %. De behandlingar som har samma bokstav är inte signifikant skiljda från varandra, n anger faktiskt antal observationer.

| Behandling | n | medelvärde | stdav  | bokstav |
|------------|---|------------|--------|---------|
| BIN        | 4 | 45,74      | 3,470  | a       |
| BKN        | 4 | 45,58      | 4,880  | a       |
| BKI        | 4 | 30,54      | 10,320 | b       |
| BII        | 4 | 21,32      | 5,830  | b       |



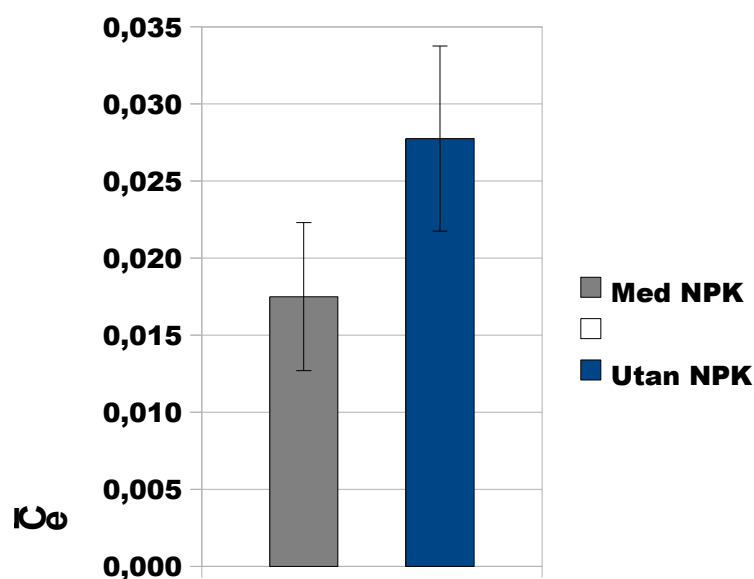
Figur 2. Torrsubstans av bondbönornas ovanjordiska delar för substratbehandlingarna II, IN, KI och KN.

#### 4.2 eCEC

Behandlingarna med tillsats av NPK gav signifikant lägre eCEC ( $p=0,021$ ) än då som inte fått något NPK. Morötter gav en något högre eCEC ( $+0,0063 \text{ mol } \text{J/kg}$ ) än bondbönorna och tillsats av biokol gav också en viss ökning ( $+0,0043 \text{ mol } \text{J/kg}$ ) jämfört med avsaknad av biokol, även om skillnaderna var långt ifrån signifikanta ( $p=0,087$  respektive  $p=0,20$ ). Värt att notera är också att behandlingen utan NPK med biokol hade de högsta värdena för både morötter och bönor, någon interaktion gick däremot inte att fastslå statistiskt. Se tabell 3 och figur 3. Fler figurer finns i bilaga 1.

Tabell 3. Effektiv katjonbyteskapacitet (mol laddningar/kg torr jord) mätt på generalprov från respektive behandling morot/böna, med/utan kol och med/utan NPK.

| Behandling | eCEC (molc/kg) |
|------------|----------------|
| MII        | 0,029          |
| MIN        | 0,020          |
| MKI        | 0,031          |
| MKN        | 0,023          |
| BII        | 0,019          |
| BIN        | 0,014          |
| BKI        | 0,032          |
| BKN        | 0,013          |



Figur 3. Medelvärdet av den effektiva katjonbyteskapacitet(mol laddningar/kg torr jord), samt standardavvikelse, med och utan NPK.

### 4.3 AL-extraktion av substratet

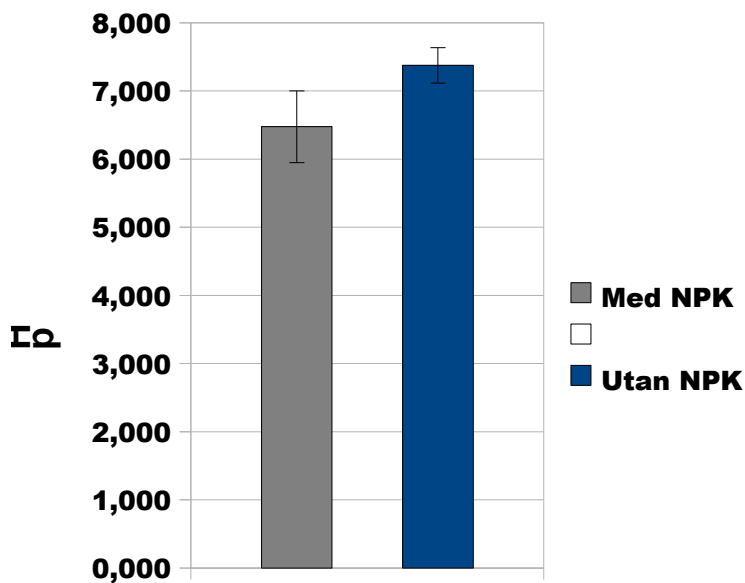
Vad gäller pH så skiljde sig behandlingarna som fått NPK signifikant från de som inte gjort det( $p=0,039$ ) och hade i medeltal 0,9 enheter lägre värde. De andra variablerna var långt ifrån att ge signifikant skillnad.

Inga försöksvariabler gav signifikant skillnad på fosforhalt och kalciumhalt.

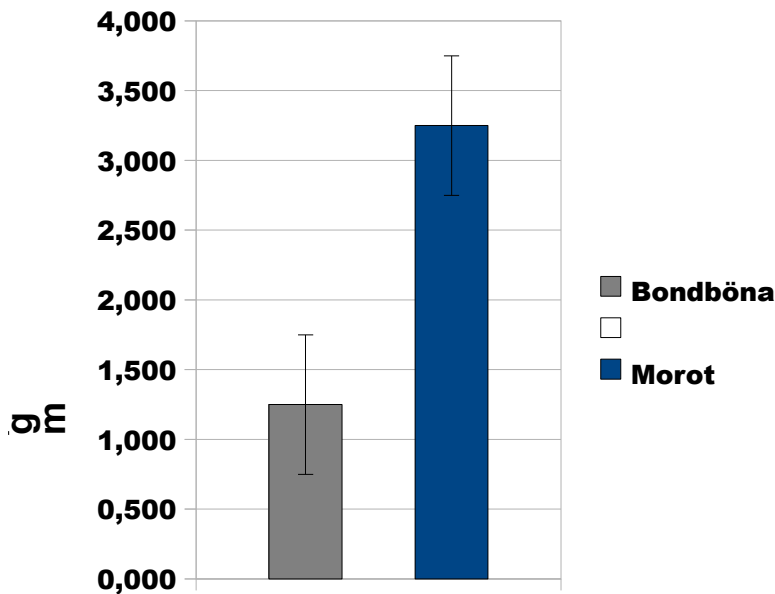
Mellan försöksgrödorna fanns en signifikant( $p=0,0013$ ) skillnad i kaliumhalten, morötterna gav 2 enheter högre värde. Även magnesiumhalten skiljde sig signifikant mellan grödorna, men gick inte att beräkna då värdena inte gav någon standardavvikelse. Se tabell 4 samt figur 4, 5 och 6.

Tabell 4. Resultaten från AL-analys av generalprov från respektive behandling. pH-värdet är enhetslöst men är definierat som  $-\log[H^+]$ , värdena för fosfor, kalium, magnesium och kalcium anges i mg/100 g jord.

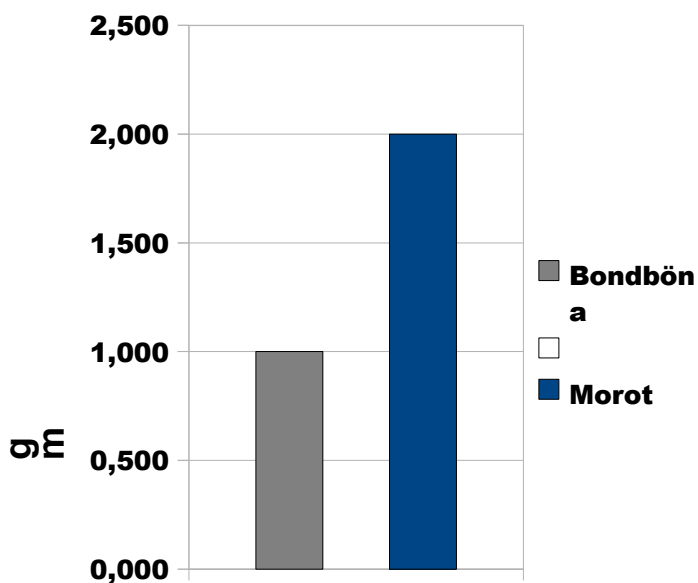
| Behandling | pH  | Fosfor | Kalium | Magnesium | Kalcium |
|------------|-----|--------|--------|-----------|---------|
| MII        | 7,6 | 1      | 4      | 2         | 30      |
| MIN        | 6   | 2      | 3      | 2         | 21      |
| MKI        | 7,6 | 1      | 3      | 2         | 22      |
| MKN        | 7,2 | 2      | 3      | 2         | 23      |
| BII        | 7,2 | 2      | 2      | 1         | 23      |
| BIN        | 6,5 | 2      | 1      | 1         | 18      |
| BKI        | 7,1 | 1      | 1      | 1         | 23      |
| BKN        | 6,2 | 2      | 1      | 1         | 19      |



Figur 4. Medel-pH-värde i substraten, samt standardavvikelse, med och utan tillsats av NPK. Skillnaden är signifikant ( $p=0,039$  med  $DF_{error} = 4$  och  $DF_{total} = 7$ ) vid jämförelse med Tukey's simultana konfidensintervall på 95%.



Figur 5. Kaliumhalt i substraten vid AL-analys efter en kultur av morot respektive bondböna. Skillnaden är signifikant ( $p=0,0013$  med  $DF_{error} = 4$  och  $DF_{total} = 7$ ) vid jämförelse med Tukey's simultana konfidensintervall på 95%.



Figur 6. Magnesiumhalt i substraten vid AL-analys efter en kultur av morot respektive bondböna. Signifikansen kan inte beräknas då varians saknas med det givna antalet värdesiffror.

## 5. Diskussion

### 5.1. Torrsubstans

För att få statistiskt hållbara resultat med rimligt medelvärde från odlingsförsöket hade egentligen ett femte replikat av varje behandling behövts. Antalet replikat från

morotsbehandlingarna minskade ytterligare på grund av en olycka och bondbönorna drabbades av ett patogenangrepp vilket kan ha haft en ojämn inverkan över replikaten.

De trender kring biokolet man ändå kan skönja är att koltillsats gav genomgående lägre skörd, utom för BKI, dock utan signifikant skillnad. BKI hade dock en kraftigt avvikande observation som kan ha påverkat resultat väldigt mycket.

För övrigt är en minskad skörd i paritet med tidigare försök på sallad där behandlingar med biokol gav positiv effekt först i andra och tredje kulturen i samma substrat (Tsukagoshi et. al. 2010).

Att bondbönorna skulle ge högre skörd med kol, utan näring, än motsvarande utan biokol är dock inte orimligt. Det skulle vara i linje med resultaten från Marco et al. (2007) som författarna förklarade främst genom ökad tillgång på bor och molybden på grund av ökad katjonbyteskapacitet. De anser att ökad tillgång på fosfor, kalium och kalcium, ökat pH samt minskad kvävetillgång och minskad Al-mättnad kan ha bidragit i mindre utsträckning.

Det bör dock tilläggas att försök med olika grundgödsling, jord och mängd biokol kan vara svåra att jämföra, inte minst eftersom olika storheter används.

Det faktum att koltillsats genomgående gav en lägre skörd, utan att ge signifikant skillnad, kan tyda på att mängden 0,5Mg/ha var otillräcklig för att få en tydlig effekt i det aktuella substratet. En större mängd biokol hade möjligen kunnat påverka substratets egenskaper i högre grad, och på så sätt ge ett tydligare resultat.

## 5.2. eCEC

Det krävdes många (faktor fyra) fler genomsköljningar än angivet i handledningen. Det kan bero på brister i författarens förmåga att känna igen reagensomslag, men också på att filterpappret som användes var av annan sort än angivet och hade snabbare vattengenomsläpplighet (OOK: 200 ml/min OOH: 40 ml/min). Det kan ha gjort att vattnet rann igenom för fort för att ta med sig kloridjonerna på det angivna antalet urlakningar. Det kan också ha resulterat i att mätningen med kalcium och förträngningen med ammonium blev ofullständig. Filterpappret hade även lägre retention än det angivna vilket kan ha lett till att andra partiklar än de avsedda jonerna lakades ut och reagerade med  $\text{AgNO}_3$ . Substraten blandades i fyra olika omgångar vilket kan ha resulterat i mätfel som försvårar jämförelsen mellan substraten. Dessutom försämrade användningen av generalprovet möjligheten till statistiska beräkningar.

NPK-behandlingarna resulterade i signifikant lägre eCEC. Det skulle kunna bero på det lägre pH-värdet, som hade ett medelvärde på 6,48. Enligt Tan (1998) bidrar organiskt material till CEC genom fenol-OH- och karboxyl-grupper, vid pH under 7 dissocierar inte fenol-OH-grupperna.

Författaren anser det därför rimligt att ett lägre pH skulle kunna orsaka en minskad katjonbyteskapacitet. Dessutom är det möjligt att även karboxylgrupperna dissocierar i mindre grad vid det angivna pH-värdet, men författaren har inte hittat något pKa-värde för karboxylgrupper som skulle stödja den teorin.

Det är också möjligt att de tillförda NPK-granulaterna innehåller något ämne med högre selektivitetskoefficient,  $k_{ex}$ , än kalciumjonerna och därmed blockera ”katjonbytesplatserna”.

Författaren har dock inte hittat något tabellvärde som skulle användas för att bekräfta den teorin.

Behandlingarna med kol utan NPK stack ut med högst eCEC. Någon statistisk interaktion gick inte att fastställa, vilket delvis skulle kunna bero på bristfälligt statistisk underlag. En sådan interaktion kunna skulle tyda på att mängden kol i sig är tillräcklig för att höja katjonbyteskapaciteten, men att effekten motverkas av gödslet.

### 5.3. AL-analys

Till att börja med blandades substratet i fyra omgångar vilket, liksom för katjonbyteskapaciteten, gör det svårare att få homogena jordprov. Att ta generalprov istället för att göra ett prov per replikat minskade kraftigt underlaget för statistiska beräkningar. Dessutom gavs koncentrationerna utan decimaler vilket i ett fall gjorde det omöjligt att utföra några statistiska beräkningar. Då författaren inte vet hur exakt själva mätmetoden var är det svårt att uttala sig om fler decimaler gett ökad noggrannhet. De kan ha gett värden med orimlig noggrannhet i förhållande till mätosäkerheten, framförallt med tanke på provtagningens noggrannhet.

Enligt Asp (personlig kommunikation) har växternas upptag av ammonium en försurande effekt, vilken motverkas av nitratupptag. Författaren anser därför att den rimligaste orsaken till att gödselbehandlingen resulterade i lägre pH är att det använda gödslet inte hade korrekt balanserad kvävesammansättning. Det kan också vara så att nitratjonerna lakats ut ur marken under försökets gång.

Att substraten som det odlats morötter i hade högre halter kalium och magnesium beror sannolikt på ett lägre upptag av växten. Det går dock inte att fastställa helt säkert då inga näringsanalyser gjordes på växtdelarna, och inte hela plantornas ts-halt mättes.

Även om det inte gick att fastslå statistiskt med det begränsade underlaget noterade författaren att behandlingarna som varken fått kol eller NPK hade de högsta kaliumhalterna.

### 5.4. Generellt

Att genomföra försöket i en ”syntetisk” mineraljord ger vissa brister i återspeglings av hur biokol skulle fungera i någon av de i Sverige förekommande jordarterna. På grund av tjäle fanns dessvärre

ingen ”naturlig” jord att tillgå när författaren startade odlingsförsöket och den här lösningen ger dessutom en högre reproducerbarhet. Dessutom kan det vara rimligt att anta att den använda mineraljorden innehåller betydligt mindre mikroorganismer än en normal svenska åkerjord, den faktorn minskar alltså som variabel.

I referenslistan finns två brister författaren anser vara av vikt. För det första är referensen Kishimoto och Sugiura (1985), som används som grund för försöket, en andrahandsreferens. För det andra saknas boken Biochar for environmental management – science and technology utgiven 2009 med ISBN: 978-1-84407-658-1. Författaren kunde inte få tag i någon av dessa i rimlig tid.

Författaren har dessutom haft svårt att finna ursprunget till viss fakta vid genomsökande av referenslistan i Sohi et al. (2009) är därför något skeptisk till denna referens.

## **5.5. Slutsatser**

Förväntat resultat var att de substrat som fått biokol genomgående skulle ge högre skörd, men också innehålla lägre halter växtnäringssämnen vid försökets slut. Författaren förväntade sig också ett högre pH-värde och en högre katjonbyteskapacitet i de substrat som fått biokol. Inga av dessa resultat uppnåddes vilket författare tolkar som att mängden tillsatt biokol var för liten, främst i förhållande till lerhalten. Det skulle också kunna bero på egenskaperna hos gödselmedlet. Det rörde sig om inkapslat granulat som relativt långsamt gav ifrån sig näring. Det kan ha gjort att näringen togs upp av växten direkt och aldrig nådde sådana mängder att tillgängligheten skulle kunna påverkas av substratets egenskaper. Handelsgödslet påverkade däremot markens kemiska egenskaper signifikant, även om det statistiska underlaget var klen. Marken försurades, men framförallt sänktes katjonbyteskapaciteten.

Dessutom skönjdes en del trender i materialet som inte kunde fastställas statistiskt, men som eventuellt skulle kunna användas som grund för vidare studier.

## **5.6. Fortsatt arbete**

Att tillsats av biokol inte gav några statistiska skillnader i resultaten, men gav vissa indikationer skulle kunna betyda att mängden var för liten. Ytterligare studier skulle behövas för att fastställa vilka mängder som krävs för att påverka olika jordar. Främst i förhållande till jorden ler- och mullhalt då det är dessa material som har effekter liknande biokolets.

I de fall man då kan fastställa att biokol har en effekt på jorden, vad gäller fysiska- och kemiska egenskaper så väl som direkt inverkan på bördighet, kan man gå vidare med långtidsförsök i någon form av kontinuerlig växtföljd. Man skulle då kunna studera inverkan på patogener som sprids i



marken och med skörderester, läckage av kemiska växtskyddsmedel, när i växtföljden det är lämpligt att tillföra samt vilka grödor som lämpar sig bäst för biokolstillverkning. Sådana långtidsstudier skulle också kunna användas för att studera hur biokols fysiska egenskaper och lokalisering i marken påverkas av jordbearbetning. Studier av de effekterna är intressanta då vissa egenskaper tillskrivits biokolpartiklarnas förmåga att fylla ut och skapa makroporer i marken.

Omvänt innebär avsaknaden av resultaten också på att 0,5 Mg/ha skulle kunna vara en ”säker” dos att tillsätta jorden i kolsekvenseringsyfte utan negativa effekter. I försöket användes däremot en ren mineraljord och vidare studier skulle behöva göras för att utröna om tillsatsen är att betrakta som säker även i andra aspekter och i andra jordar, framförallt påverkan på mullhaltiga jordar behöver utrönas ytterligare.

Det för författaren mest oväntade resultatet var handelsgödslets sänkning av substratets katjonbyteskapacitet. Vidare studier av dessa inleds lämpligen genom att studera om någon av de tidigare föreslagna mekanismerna ligger bakom resultaten.

## Referenslista:

Adelsköld, N. (1991) *Odla köksväxter på friland*. Stockholm: LT

Almers, R. (2009) *Tillsats av biokol till en svensk sandjord – effekter på lustgasavgång, kväveretention och andel vattenfyllda porer*. Kandidatarbete. Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet

Brodowski, S., Amelung, W., Haumaier, L. & Zech, W. (2007) *Black carbon contribution to stable humus in German arable soils*, *Geoderma*, 139. p. 220-228

Cheng, C-H, Lehmann, J., Thies, J. E., Burton, S. D. & Engelhard, M. H. (2006) *Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes*. *Organic Geochemistry*, 37. p. 1477-1488.

Englund, J-E (2006) *Statistik för tringprogrammet*. Kompendium 2006:4. SLU Alnarp, institutionen för landskaps- och trädgårdsteknik

Eriksson, J., Nilsson, I. & Simonsson, M. (2005) *Wiklanders marklära*. Lund: Studentlitteratur.

Glaser, B., Lehman, J. & Zech, W. (2002) *Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review*. *Biology and fertility of soils*, 35. p. 219-230.

Henriksson, D. (1995) *Marklaborationer*. Stockholm: Forskningsrådsnämnden, 1978-

Horwath, W. (2007) Carbon cycling and formation of soil organic matter. I: Paul, E. A. (Ed.) *Soil microbiology, biochemistry & ecology*. 3. ed. p. 303-337. Burington: Academic press

Keiluweit, M., Nico, P. S., Johnson, M. G. & Kleber, M. (2010) *Dynamic Molecule Structure of Plant Biomass-Derived Black Carbon (Biochar)*. *Environmental Science & Technology*, 44. p. 1247-1253.

Kishimoto, S. & Sugiura, G. (1985) *Charcoal as a soil conditioner*.

- Kuzyakov, Y., Subbotina, I., Chen, H., Bogomolova, I. & Xu, X. (2008) *Black carbon decomposition and incorporation into soil microbial biomass estimated by <sup>14</sup>C labeling*. Soil Biology & Biochemistry, doi:10.1016/j.soilbio.2008.10.016
- Lehmann, J., Pereira da Silva Jr., J., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W. & Glaser, B. (2003) *Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments*. Plant and Soil, 249. p. 343-357.
- Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neil, B., Skjemstad, J. O., Thies, J., Luizão, F. J., Petersen, J. & Neves, E. G. (2006) *Black Carbon Increases Cation Exchange Capacity in Soils*. Soil Science Society of America Journal, 70. p. 1719-1730.
- Marco, A., Lehman, J., Ramirez, J. & Hurtado, M. (2007) *Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions*. Biology and fertility of soils, 43. p. 699-708.
- Paul, H., Ernsting, A., Semino, S., Gura, S. & Lorch, A. (2009) *Agriculture & climate change: Real problems, false solutions*. Prel. Rapport från Econexus, Biofuelwatch, Grupo de Reflexion Rural och NOAH – Friends of the Earth Denmark. Draft 2.
- Piccolo, A., Pietramellara, G. & Mbagwu, J.S.C. (1997) *Use of humic substances as soil conditioners to increase aggregate stability*. Geoderma, 75. p. 267-277.
- Pietikäinen, J., Kiikkilä, O. & Fritze, H. (2000) *Charcoal as a habitat for microbes and its effect on the microbial community of the underlying humus*. OIKOS, 89. p. 321-242. ISSN: 0030-1299
- Skjemstad, J. O., Clarke, P., Taylor, J. A., Oades, J. M. & McClure, S. G. (1996) *The chemistry and nature of protected carbon in soil*. Australian Journal of Soil Research, 34. p. 251-276.
- Sohi, S., Lopez-Capel, E., Krull, E. & Bol, R. (2009) *Biochar, climate change and soil: A review to guide future research*. CSIRO Land and Water Science Report series ISSN: 1834-6618
- Tan, K. H. (1998) *Principles of soil chemistry*, 3rd ed. Marcel Dekker, Inc. - New York. ISBN: 0-8247-0147-X

TIAN Chao, WANG Mi-dao & SI You-bin (2010) *Influences of Charcoal Amendment on Adsorption-Desorption of Isoproturon in Soils*. Agricultural Sciences in China, 9. p. 257-265.

Torn, M. S., Trumbore, S. E., Chadwick, O. A., Vitousek, P. M. & Hendricks D. M. (1997) *Mineral control of soil organic carbon storage and turnover*. Nature, 389. p. 170-173.

Tryon, E.H. (1948) *Effect of charcoal on certain physical, chemical, and biological properties of forest soils*. Ecological Monographs, 18. p. 81-115.

Tsukagoshi, S., Fukui, M., Shinoyama, H., Noda, K. & Ikegami, F. (2010) *The Effect of Charcoal Amendment on the Lettuce Growth and NO<sub>3</sub>-N Discharge from the Soil Medium*, Acta Hort. 852, ISHS. P 319-324.

Wardle, D. A., Nilsson, M.-C. & Zackrisson, O. (2008) *Fire-Derived Charcoal Causes Loss of Forest Humus*. Science [online], 320. s. 629. Tillgänglig: [www.sciencemag.org](http://www.sciencemag.org) [2009-11-09]

Weibulls (u.å.) Fröpåse innehållande *Daucus carota* ssp. *Sativus* 'Napoli F1', No: 8167. Econova Garden AB. Inköpt [2010-02-15], sista förs. 30-09-12.

Weibulls (u.å.) Fröpåse innehållande *Vicia faba* 'Hangdown', No: 8713. Weibull Trädgård AB. Inköpt [2010-02-15], sista förs. 30-09-10.

van Zweiten, L., Kimber, S., Morris, S., Chan, K. Y., Downie, A., Rust, J., Joseph, S. & Cowie, A. (2010) *Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility*. Plant Soil, 327. p. 235-246.

## **Elektroniska källor:**

Alsanius, B. (2006) *Växtplatsens förråd – växtens behov*. [online] Tillgänglig: [http://slunik.slu.se/student\\_index.cfm?id=3131](http://slunik.slu.se/student_index.cfm?id=3131) [2010-05-12]

Alsanius, B., Mogren, L., Khalil, S., Ekengard, K. & Asp, H. (2008) CO<sub>2</sub>-neutral odling av grönsaker på friland. [online] Tillgänglig: <http://publikationer.slu.se> [2008-11-04]

Englund, J-E (u.å.) *MINITAB i korthet – release 15*. [online] Tillgänglig:  
[http://slunik.slu.se/student\\_index.cfm?id=5621&SelectedKursTyp\\_id=1](http://slunik.slu.se/student_index.cfm?id=5621&SelectedKursTyp_id=1) [2010-05-17]

GPRI - Global Phosphorus Research Initiative. Hemsida. [online] (2009-10-06) Tillgänglig:  
<http://phosphorusfutures.net/peak-phosphorus> [2010-05-12]

IBI – International Biochar Initiative. Hemsida [online] Tillgänglig: [www.biochar-international.com](http://www.biochar-international.com)  
[2010-05-12]

Pettersson O. & Eriksson S. (1993) *Högre bördighet eller utarmning? - jordbrukets långsiktiga påverkan på åkermarken*. [online] Tillgänglig:  
[http://chaos.bibul.slu.se/sll/slu/fakta\\_mark\\_vaxter/FMV93-06/FMV93-06.HTM](http://chaos.bibul.slu.se/sll/slu/fakta_mark_vaxter/FMV93-06/FMV93-06.HTM) [2010-04-22]

SJV - Jordbruksverket (2007) *Marknadsöversikt - färska frukter och grönsaker*. [online] Tillgänglig:  
[www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf\\_rapporter/ra07\\_1.pdf](http://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_rapporter/ra07_1.pdf) [2010-04-21]

Skogens kol. Hemsida. [online] (2004-04-22) Tillgänglig: <http://www.skogens.net/> (2010-05-13)

Yara. Hemsida. [online] Tillgänglig:  
[www.yara.se/fertilizer/crop\\_advice/horticulture\\_field/vegetables.aspx](http://www.yara.se/fertilizer/crop_advice/horticulture_field/vegetables.aspx) [2010-02-17]

## **Personlig kommunikation:**

Asp, H. Föreläsningsserie ht-2009 inom kursen *Växtfysiologi*, vid SLU i Alnarp

Larsson, N. (Nicklas.Larsson@Skogens-kol.se), 2010-04-12. VB: Temperatur vid kolning. E-mail till: Skytte af Sättra, J. (josk0011@stud.slu.se)

## Bilaga 1. Rådata

Nedan följer den rådata som erhöles från LMI AB för jordproverna. Tabell 1 visar kalciumkoncentrationen som erhöles vid bestämning av eCEC, se material och metoder 3.10.

Därefter beskrivs hur eCEC räknades fram ur värdena i tabellen.

Figur 1-12 visar stapeldiagram och interaction plots för katjonbyteskapacitet och AL-analysen.

Tabell 2 visar rådatan från torrsubstansmätningarna.

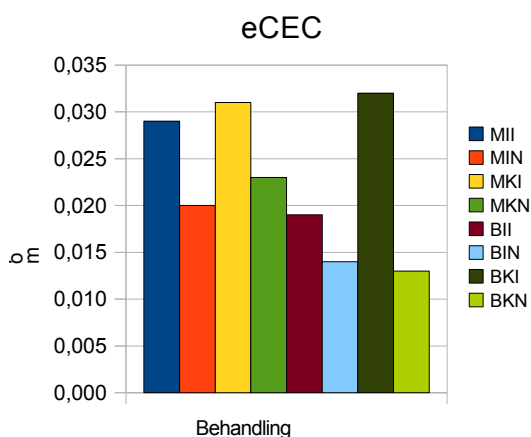
Tabell 1. Kalciumkoncentrationerna i mg/l i de filtratprov som skickades till analys enligt material och metoder.

| Behandling | Ca koncentration (mg/l) |
|------------|-------------------------|
| MII        | 29                      |
| MIN        | 20                      |
| MKI        | 31                      |
| MKN        | 23                      |
| BII        | 19                      |
| BIN        | 14                      |
| BKI        | 32                      |
| BKN        | 13                      |

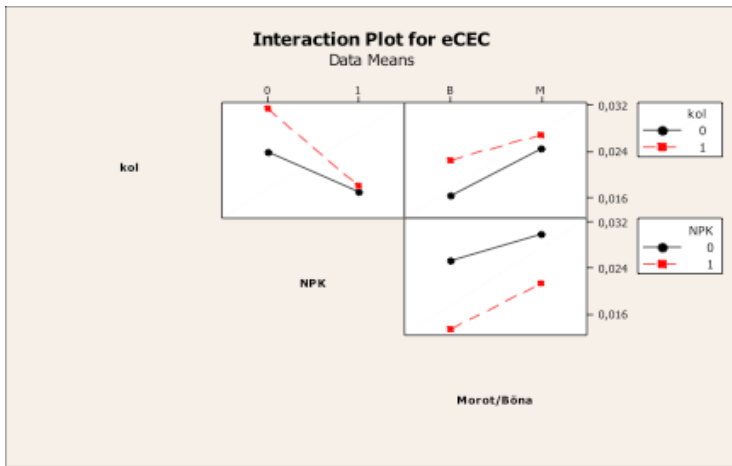
Molmassan 40,1g/mol används för kalcium.

Genom följande formel, där x=kalciumkoncentrationen uttryckt i g/l, fås eCEC angivet med två värdesiffror.

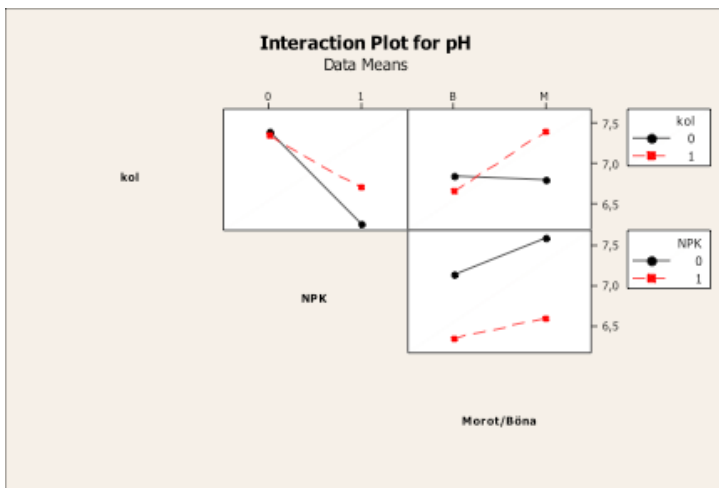
$$\frac{((x \cdot 0,1 / 1000) / 40,1) \times 2 \times 1000}{5} = eCEC \text{ molc/kg}$$



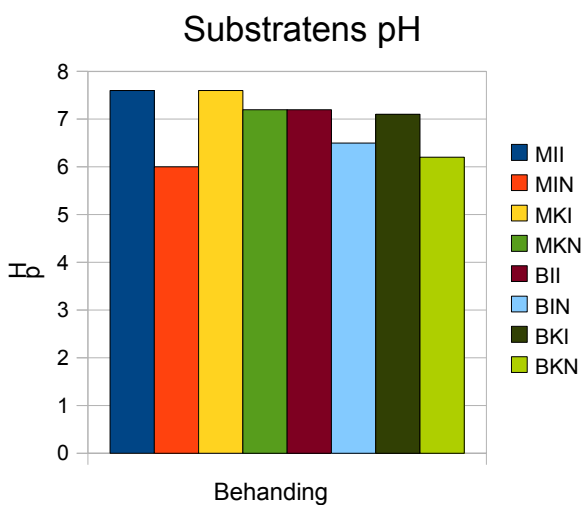
Figur 1. Katjonbyteskapacitet angivet i mol/kg torrt substrat.



Figur 2. Interaction plot över katjonbyteskapaciteten för variablerna med/utan biokol, med/utan NPK samt bondböna/morot.

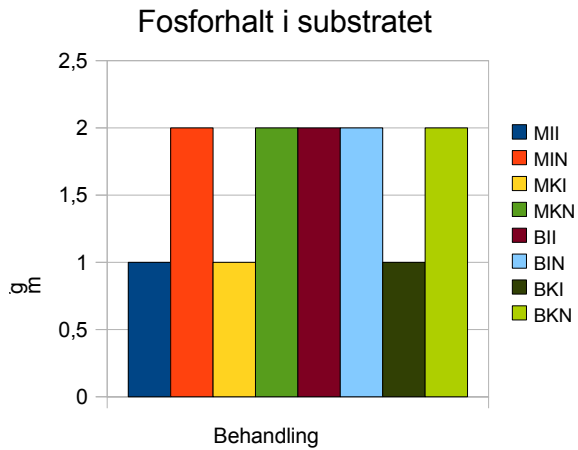


Figur 3. Interaction plot över markens pH för variablerna med/utan biokol, med/utan NPK samt bondböna/morot.

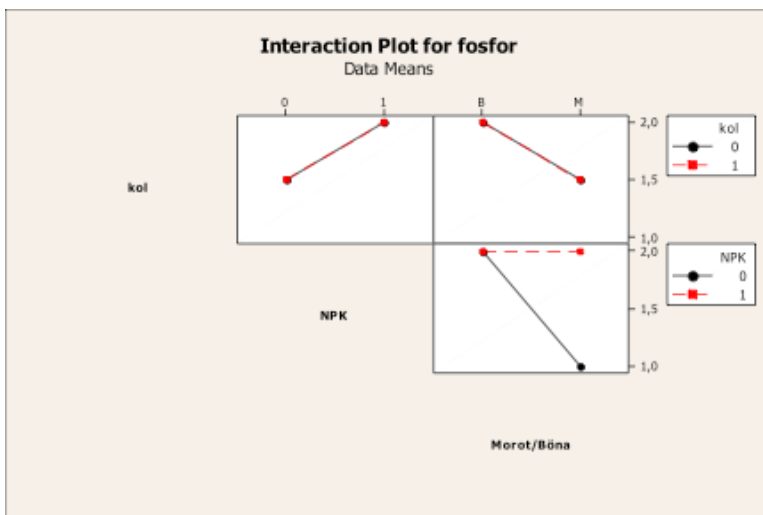


Figur 4. Stapeldiagram över markens pH för de olika behandlingarna.

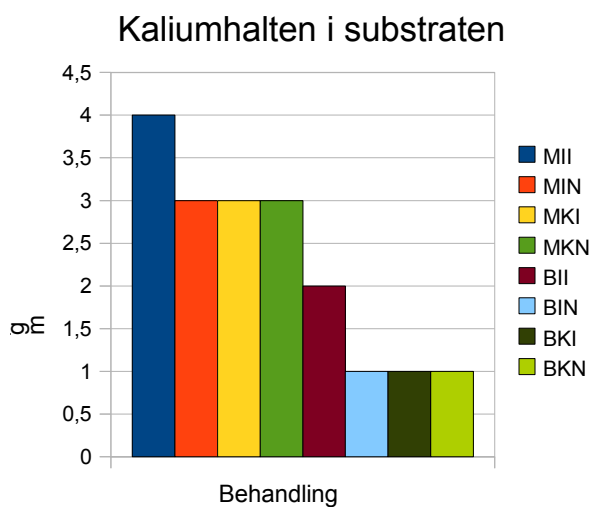




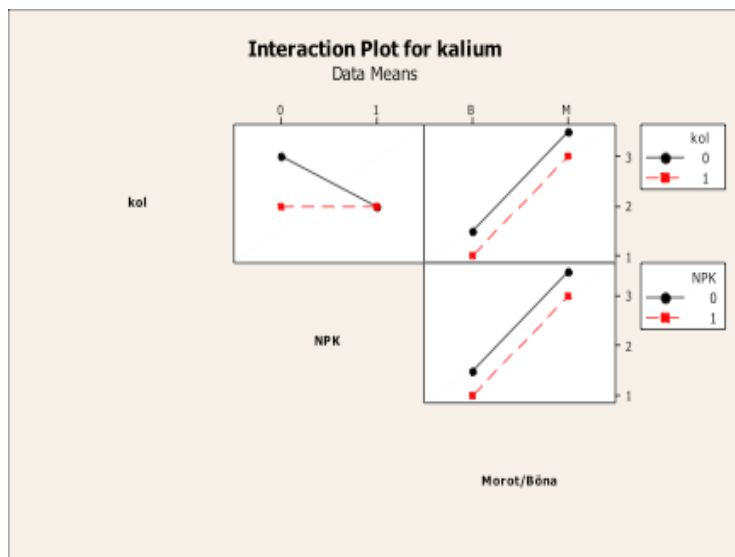
Figur 5. Stapeldiagram över markens fosforhalt för de olika behandlingarna.



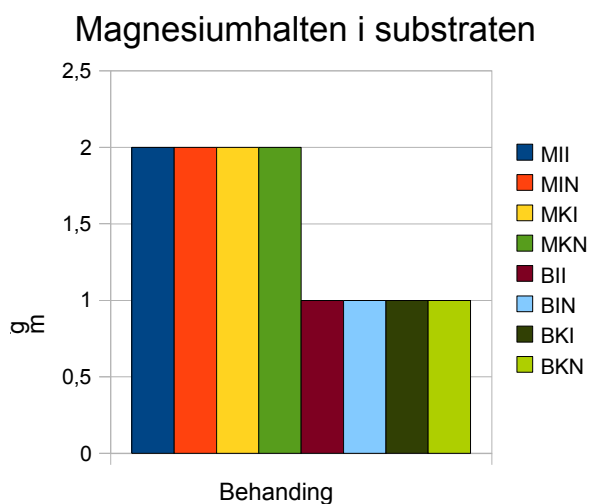
Figur 6. Interaction plot över markens fosforhalt för variablerna med/utan biokol, med/utan NPK samt bondböna/morot.



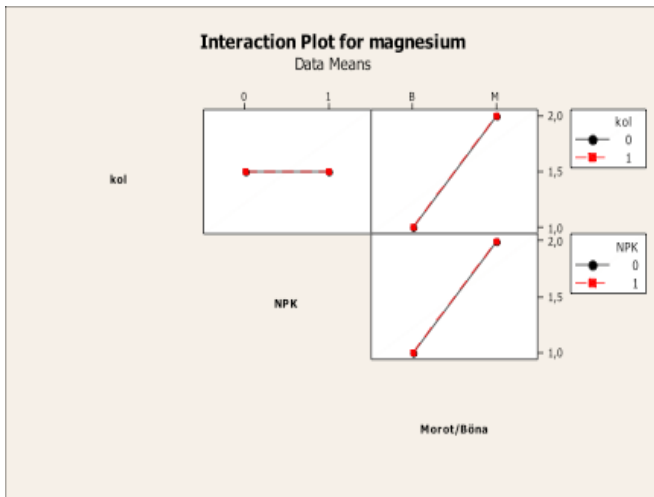
Figur 7. Stapeldiagram över markens kaliumhalt för de olika behandlingarna.



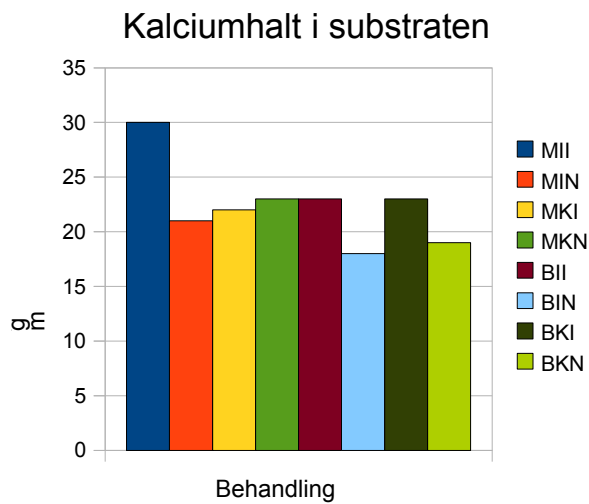
Figur 8. Interaction plot över markens kaliumhalt för variablerna med/utan biokol, med/utan NPK samt bondböna/morot.



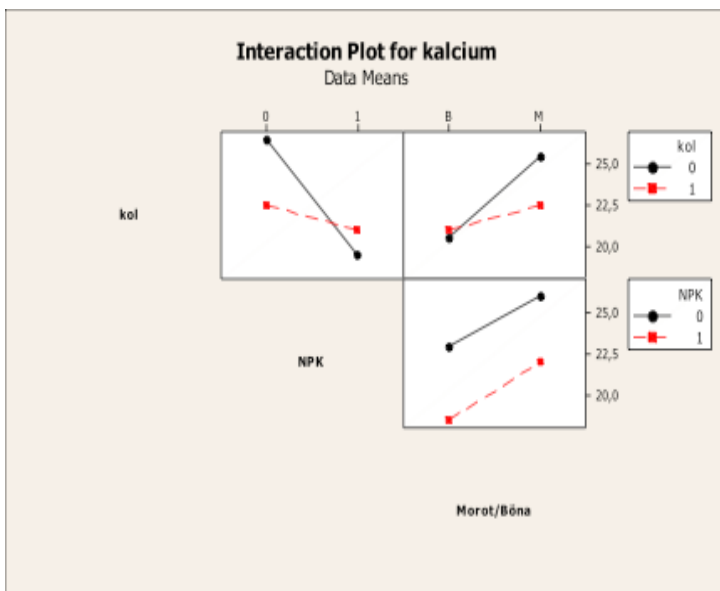
Figur 9. Stapeldiagram över markens magnesiumhalt för de olika behandlingarna.



Figur 10. Interaction plot över markens magnesiumhalt för variablerna med/utan biokol, med/utan NPK samt bondböna/morot.



Figur 11. Stapeldiagram över markens kalciumhalt för de olika behandlingarna.



Figur 12. Interaction plot över markens kalciumhalt för variablerna med/utan biokol, med/utan NPK samt bondböna/morot.

Tabell 2. Rådata av torrsubstanzen i gram.

| Behandling | Block 1 | Block 2 | Block 3 | Block 4 | Medel | Standardavvikelse |
|------------|---------|---------|---------|---------|-------|-------------------|
| MII        | 5,38    | 1,73    | 1,31    | 0,88    | 2,33  | 2,07              |
| MIN        | 27,43   | 26,51   | 24,02   |         | 25,99 | 1,76              |
| MKI        | 1,64    | 3,15    | 1,05    |         | 1,95  | 1,08              |
| MKN        | 23,46   | 26,31   |         |         | 24,89 | 2,02              |
| BII        | 29,16   | 16,57   | 22,35   | 17,22   | 21,33 | 5,83              |
| BIN        | 44,79   | 49,54   | 47,23   | 41,42   | 45,75 | 3,47              |
| BKI        | 45,03   | 29,94   | 26,11   | 21,09   | 30,54 | 10,32             |
| BKN        | 41,96   | 40,9    | 48,73   | 50,74   | 45,58 | 4,88              |

## Bilaga 2 Jordartsklassning

Flertalet av de referenser som använts i arbetet använder ett annat system för jordartsklassificering än det svenska, ex. United States Department of Agriculture (USDA) Soil Taxonomy. Dessutom skiljer man inte på ”jordart” och ”jordmån” på engelska, vilket är det språk som använts i flertalet referenser. Det gör att det blir väldigt svårt att göra en korrekt översättning från svenska till engelska, men av språktekniska skäl används följande översättningar:

Loam = lättlera

Clay-loam = mellanlera

Clay-soil = styv lerva

Silt = silt

Sand = sand