



# Biokol och dess påverkan på uppkomsten hos lantbruksgrödor

---

*Biochar and its impact on the emergence of agricultural crops*

Emma Book

Självständigt arbete • 15 hp

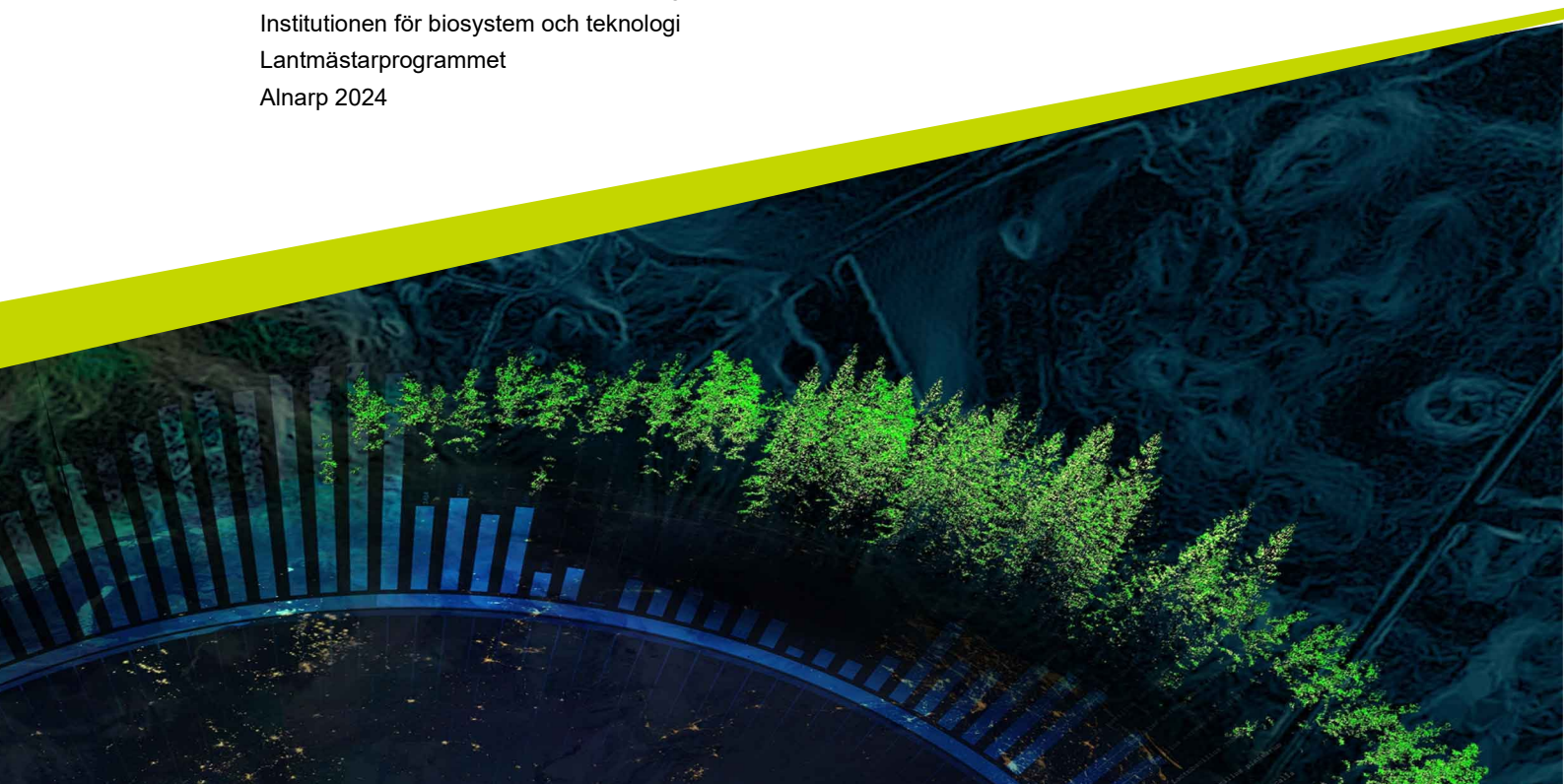
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

Institutionen för biosystem och teknologi

Lantmästarprogrammet

Alnarp 2024



# Biokol och dess påverkan på uppkomsten hos lantbruksgrödor

*Biochar and its impact on the emergence of agricultural crops*

Emma Book

**Handledare:** Maria Karlsson, SLU, Institutionen för biosystem och teknologi

**Bitr. handledare:** Helene Larsson Jönsson, SLU, Institutionen för biosystem och teknologi

**Examinator:** Maria Ernfors, SLU, Institutionen för biosystem och teknologi

**Omfattning:** 15 hp

**Nivå och fördjupning:** G2E

**Kurstitel:** Självständigt arbete i lantbruksvetenskap

**Kurskod:** EX1017

**Program/utbildning:** Lantmästarprogrammet

**Kursansvarig inst.:** Institutionen för biosystem och teknologi

**Utgivningsort:** Alnarp

**Utgivningsår:** 2024

**Nyckelord:** biokol, biokol egenskaper, groning, vårkorn, sockerbetor, höstraps, pH, alkalinitet, salinitet, salt-stress, hög konduktivitet

**Sveriges lantbruksuniversitet**

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap  
Institutionen för biosystem och teknologi

## SAMMANFATTNING

Syftet med detta examensarbete var att undersöka hur uppkomsten hos lantbruksgrödor påverkas av biokol inblandat i jorden. I den experimentella delen av examensarbetet blandades 10 volymprocent biokol av två sorter in i jorden - bioagro-biokol och slambiol. För att utvärdera om det skiljer sig mellan tillvägagångssätt vid myllning valdes ett behandlingsled med djup inblandning i hela profilen och ett med grund inblandning i ytan. Tre lantbruksgrödor ur olika växtfamiljer var med i experimentet – vårkorn, sockerbeter och höstraps. För att mäta groningen räknades antal plantor i sju dagar. Motivet till arbetet är att biokolets egenskaper, såsom högt pH och hög konduktivitet, har i andra sammanhang visat sig kunna påverka groning negativt.

Resultatet från experimentet visade att det inte fanns några signifikanta skillnader i groningen hos vårkorn, men det påskyndade groningen signifikant hos sockerbeter och höstraps med en dag. Flest antal uppkomna plantor dag ett för sockerbeter gav båda typer av biokol som var grunt myllad i ytan och för höstraps gav bioagro-biokol som var grunt myllad i ytan flest uppkomna plantor. Endast en tendens till liknande resultat observerades hos vårkornet.

*Nyckelord: biokol, biokol egenskaper, groning, vårkorn, sockerbeter, höstraps, pH, alkalinitet, salinitet, salt-stress, hög elektrisk konduktivitet*

## ABSTRACT

The aim of this thesis was to investigate how the emergence of agricultural crops is affected by the incorporation of biochar into the soil. In the experimental part of the thesis, 10 volume percent of two types of biochar, bioagro biochar and sewage biochar were mixed into the soil. To evaluate whether there are differences in approaches to incorporation, a treatment involving deep incorporation throughout the profile and a shallow incorporation on the surface were chosen. Three agricultural crops from different plant families were included in the experiment – spring barley, sugar beets and winter canola. Germination was assessed by counting the number of seedlings over seven days. The motive for the study is that the properties of biochar, such as high pH and high conductivity, have been shown in other contexts to impact germination potentially negatively.

The results from the experiment showed that there were no significant differences in the germination of spring barley, but germination was significantly accelerated for sugar beets and winter rape by one day. The highest number of emerged sugar beet plants on day one was observed with both types of biochar shallowly incorporated into the soil surface, and for winter rape, the highest number of emerged plants was observed with the shallow incorporation of bioagro biochar. Only a tendency towards similar results was observed in the spring barley.

*Keywords: biochar, biochar properties, germination, barley, sugar beet, canola, pH, alkaline, salinity, salt-stress, high electrical conductivity*

## Förord

Lantmästarprogrammet är en treårig universitetsutbildning som omfattar 180 högskolepoäng (hp). Ett obligatoriskt moment inom programmet är att genomföra ett självständigt arbete. Detta arbete kan vara ett mindre försök som utvärderas eller en litteratursammanställning som analyseras, för att senare presenteras i form av en skriftlig rapport och ett seminarium. Arbetet är utfört under programmets tredje år och motsvarar 10 veckors heltidsstudier och 15 hp.

Detta arbete genomfördes som ett försök med tillhörande litteraturstudie. Jag har ett stort intresse för växtodling och valde därför att skriva ett självständigt arbete inom detta område. Idén till experimentet kom till mig efter ett samtal med Helene Larsson Jönsson, SLU, som tidigare genomfört försök med lantbruksgrödor och biokol. Helene har då sett tendenser till att groningen hos vissa grödor påverkats negativt där koncentrationen biokol i jorden varit hög.

Jag vill rikta ett stort tack till Skånefrö som varit generösa och bidragit med biokol och jord till experimentet. De har varit till stor hjälp och svarat på frågor angående pyrolysisprocessen. Jag vill även rikta ett stort tack till min handledare, Maria Karlsson, som bidragit med stöd och råd kring experimentet och rapporten. Vidare vill jag tacka min biträdande handledare Helene Larsson Jönsson för idén, samt för att ha bidragit mycket med sin stora kunskap inom ämnet, samt även med utsädet till försöket. Jan-Eric Englund skall likaså ha ett stort tack för den statistiska rådgivning som han har bistått med. Ett stort tack även till SLU Partnerskap Alnarp som har varit med och finansierat experimentet.

Alnarp 2024

Emma Book

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<b>1. INLEDNING .....</b>	<b>7</b>
1.1 BAKGRUND.....	7
1.2 FRÅGESTÄLLNINGAR.....	7
1.3 SYFTE & MÅL.....	8
1.4 AVGRÄNSNINGAR .....	8
<b>2. LITTERATURSTUDIE .....</b>	<b>9</b>
2.1 BOKOL.....	9
2.1.1 Användningsområden.....	10
2.1.2 Egenskaper.....	10
2.2 GRONINGSPROCESSEN.....	11
2.2.1 Konduktivitet och pH – påverkan på groningsprocessen hos korn, sockerbetor och raps .....	12
<b>3. MATERIAL &amp; METOD.....</b>	<b>13</b>
3.1 UTFORMNING AV FÖRSÖK.....	13
3.2 GENOMFÖRANDE.....	15
3.3 BOKOL.....	15
3.4 JORD .....	16
3.5 STATISTISK ANALYS .....	16
<b>4. RESULTAT .....</b>	<b>17</b>
4.1 EGENSKAPER I BEHANDLINGSLEDEN .....	17
4.2 DAG ETT.....	18
4.3 DAG TVÅ TILL SJU .....	19
<b>5. DISKUSSION &amp; SLUTSATS .....</b>	<b>23</b>
5.1 DISKUSSION OM FÖRSÖKET .....	23
5.2 SLUTSATS.....	27
<b>REFERENSER.....</b>	<b>28</b>

# 1. INLEDNING

## 1.1 BAKGRUND

Intresset för biokol inom lantbruket växer. Det på grund av att dess egenskaper som jordförbättringsmedel är goda då det genom sin stora specifika yta har bra vatten- och näringshållande förmåga (Thomsen 2022). I ett föränderligt klimat med ökande medeltemperaturer, längre torkperioder och fler dagar med extremväder vill forskare och lantbrukare hitta lösningar för att göra jordar och växter mer torktåliga. Där tros biokol vara en potentiell lösning. Intresset för biokol har även ökat på grund av dess klimatpositiva egenskaper. Kolmolekylerna i biokol blir bundna i hundratals till tusentals år och blir därför en stabil kolsänka (Woolf et al. 2010; Sohi et al. 2010). Beroende på det ursprungliga materialet som biokolen består av får det olika egenskaper, men generellt för biokol är att det har ett högt pH samt hög andel lösliga salter (Thomsen 2022). Dessa två egenskaper har visat sig kunna påverka groningen hos specifika växter negativt (Perveen et al. 2008; Jafarzadeh & Aliasgharzad 2007; Kayamim et al. 2014; Wang et al. 2022). För att öka förståelsen för hur användandet av biokol tillämpas inom jordbruket på ett så optimalt sätt som möjligt har jag valt att studera hur biokol påverkar groningsprocessen hos tre lantbruksgrödor: vårkorn (*Hordeum vulgare*), sockerbeta (*Beta vulgaris*) och höstraps (*Brassica napus*). I försöket användes två olika sorters biokol, bioagro-biokol och slambiokol, och dessa applicerades på två olika sätt: väl inblandad i jordprofilen samt placerad på ytan med en grund nedblandning.

## 1.2 FRÅGESTÄLLNINGAR

Frågeställningarna är följande:

1. Hur påverkas groningen hos lantbruksgrödor av biokol?
2. Är det någon skillnad på påverkan mellan bioagrobiokol och slambiokol?
3. Blir det någon skillnad beroende på vart biokolen placeras?

### 1.3 SYFTE & MÅL

Syftet med denna studie är att undersöka hur biokol påverkar groningen hos lantbruksgrödor. Jag vill utvärdera om det skiljer sig mellan olika typer av biokol och om valet av placering i jordprofilen ger skillnader i resultatet. Detta görs genom ett odlingsförsök i växthus samt litteraturstudie.

Målet med studien är få en ökad förståelse för hur biokol bör spridas vid användning på åkermark ämnad för jordbruksgrödor samt utvärdera om det skiljer sig mellan bioagro-biokol och slambiol.

Hypotesen är att biokol inte har någon effekt på groningsprocessen hos lantbruksgrödor.

### 1.4 AVGRÄNSNINGAR

Försöket är begränsat genom att endast två typer av biokol undersökts med endast en procentuell inblandning på 10 volymprocent. Arbetet är begränsat till tre lantbruksgrödor, dock ur olika växtfamiljer. Försöket är endast utförd på en typ av jord – lätt sandjord. Arbetet är dessutom begränsat till att endast undersöka uppkomsten och inga andra parametrar eller utvecklingsstadier i växtens livscykel.



## 2. LITTERATURSTUDIE

### 2.1 BOKOL

Kolinbindning via tillverkning av biokol är ett relativt simpelt och kostnadseffektivt koncept. Under tiden som organiskt material växer, såsom grödor och träd, binds kol in i plantorna från atmosfären. När plantorna sedan dör och bryts ned återförs kolet till atmosfären, och är en del av det naturliga kolkretsloppet. Vid tillverkning av biokol avbryts detta kretslopp och kolet konverteras till en stabil form som är bunden under lång tid (Osman et al. 2022).

Biokol består av organiskt material som genom pyrolys bildar en form av kolprodukt. Pyrolys är en process där ett organiskt material hettas upp till mellan 350–800 °C. I princip alla organiska material kan bli pyrolyserade, dock kan inte alla material konverteras problemfritt. Denna process är antingen syrefattig eller syrefri. Processen kan ta flera timmar eller några sekunder, beroende på temperatur och mängd material. Biomassapyrolys ger inte enbart biokol som produkt, utan också energi i form av syntesgas och bio-olja. Värmen från den heta gasen kan användas som en del av energikällan i pyrolysisprocessen i integrerade system. I fall där extern energi i stället används till pyrolysisprocessen kan värmen som produceras från gasförbränning tillföras andra externa system, såsom till industrier, torkanläggningar eller befintliga värmesystem för fjärrvärme (Thomsen 2022)

Biokol är inget nytt, utan processen har använts av civilisationer världen över i tusentals år. Sohi et al. 2010 skriver att urbefolkningen i Amazonas tillförde förkolnad massa från hushåll till jordbruksmark, vilket de snart upptäckte generade i högre grödtillväxt än de jordar som inte tillförts kol. Dessa jordar kallades för ”Terra preta”, svart jord (Sohi et al. 2010). I Sverige var produktion av träkol i kolmilor vanligt förekommande från år 1000 för att förse järnindustrin med energi (Westerlund 1996). Biokol har i nutid fått ögonen på sig, inte bara på grund av dess egenskaper som jordförbättringsmedel bland annat, utan också på grund av att det är en kolsänka som kan vara en del av lösningen på växthuseffekten och de medföljande klimatförändringarna som är ett uppenbart problem (Thomsen 2022; Sohi et al. 2010).

### 2.1.1 Användningsområden

Det finns många möjliga användningsområden för biokol, det menar Osman et al. (2022). Författarna menar att de mest optimala lagringsreservoarerna för biokol är i jordar, civil infrastruktur och i depåer. Vidare är biokol kombinerade med traditionella gödselmedel som tillsatser i jordbruksmark ett lovande framtida tillvägagångssätt inom lantbruket. Biokolen fungerar då som en näringsbärare (Joseph et al. 2021). Biokol kan användas inom animalieproduktion som ett fodertillskott. Det har visat ge fördelar som förbättrad tarmflora, reducerat metanutsläpp hos idisslare, ökad djurtillväxt, minskning av endotoxiner och större äggutbyte inom äggproduktion (Osman et al 2022; Mirheidari et al. 2020; Sivilai et al. 2018; Man et al. 2021; Schmidt et al. 2019; Toth et al. 2016). Biokol har visat fungera bra i komposter då det förbättrar den mikrobiella aktiviteten samt reglerar frigörandet av växthusgaser (Stefaniuk & Oleszczuk 2016; Malińska et al. 2014). I biogasproduktion har biokol visat förbättra den anaeroba nedbrytningen (Chiappero et al. 2020). Biokolet kan ge funktionella och strukturella fördelar vid addering i asfalt eller cement (Fawzy et al. 2021). Det kan även fungera som ett filter i vatten- och jordsaneringar för att avlägsna föroreningar (Kamali et al. 2017). Biokol är ett mångsidigt material som via sin omfattande användningsvariation har stor potential för framtiden (Osman et al. 2022).

I Sverige har biokol under de senaste åren använts mycket inom den urbana miljön, såsom vid trädplantering i städer, vid anläggning av fotbollsplaner, rabatter och i regnbäddar (Fransson et al. 2020).

### 2.1.2 Egenskaper

Biokolets egenskaper kan se olika ut beroende på många faktorer. Generellt för biokol, oavsett ursprungsmaterial och tillvägagångssätt vid pyrolys, är att det har stor specifik yta, hög andel kol, neutralt till alkaliskt pH och låg densitet (Stenier et al. 2016). Den specifika ytarean som biokolet får beror på faktorer som pyrolysförhållanden, om det utsätts för en aktiveringsåtgärd samt vilket råmaterial som används. Den specifika ytan kan variera från bara några få m<sup>2</sup> per gram till mer än 2000 m<sup>2</sup> per gram (den blir som störst när biokolen aktiveras, det genom ökad trycksättning eller syrabehandling) (Thomsen 2022). Den stora specifika ytan och strukturen på ytan bär ansvaret för den goda retentionsförmågan av näringsämnen, vatten och organiska föreningar. Den porösa strukturen ger en god livsmiljö för mikroorganismer och utgör ett bra skydd mot predatorer som dessa utsätts för. Det labila kolet i produkten agerar födokälla och näring i form av mineraler. Den stora vattenhållande förmågan kan mildra de skadliga effekter som torka har på de mikrobiella samhällena (Steiner et al. 2016). Biokolets förmåga att binda vatten till ytan har visat ge positiva effekter för grödors utveckling vid torka. I ett försök av Chowdhury et al. (2024) där de synergistiska effekterna av hur samplacering av biokol och kalium påverkade torkstressade vetepantor (*Triticum aestivum* L.)

primitivt undersöktes fanns även behandlingsled med jord och biokol samt jord och kalium. Tre utvecklingsstadier undersöktes – kronrotens initiering, blomning och kornutvecklingsstadiet. Samplacering av biokol och kalium gav klart bäst resultat mot när de placerades individuellt. Ledet med biokol lindrade ändå de synliga tecknen på torkstress vid alla stadier jämfört med kontroll och ledet med individuellt inducerat kalium (Chowdhury et al. 2024).

Biokol har neutralt till alkaliskt pH, ofta mellan 7-13 beroende på bland annat råmaterial och förhållanden under pyrolyprocessen (Fransson et al. 2020; Thomsen 2022). pH påverkar inte bara näringsämnenas tillgänglighet (Lucas & Davis 1961) utan är också en nyckelparameter som påverkar sammansättningen på mikrobiella samhällen. Svampar dominerar ofta vid lägre pH, medan bakterierna blir rikligare vid högre pH (Steiner et al. 2016).

Biokolet yta bidrar till dess goda sorptiva egenskaper, vilket innebär att det enkelt adsorberar näringsämnen och kemikalier. Det finns stor potential för att jordar behandlade med biokol får ökad katjonsbyteskapacitet (CEC) (Thomsen 2022). Biokolets adsorberande egenskaper har i forskning visat resultera i minskade lustgasutsläpp från jordbruksmark. Biokolet underlättar överföringen av elektroner till mikroorganismer som är involverade i denitrifikationsprocessen. Det kan även bidra till att minska biotillgängligheten av giftiga ämnen, såsom PAH-ämnen. Detta har visat sig ytterligare förbättra livsmiljön för mikrobiella populationer (Steiner et al. 2016). Dessa egenskaper har även visat stor potential till att kunna rena svårt kontaminerade jordar som tidigare agerat skjutfält (Ahmad et al. 2014).

Kolet (C) i biokolprodukten består av det relativt stabila aromatiska C samt av det relativt labila alifatiska (flyktiga) C. Det som avgör stabiliteten på C i biokolet är alltså andelarna av dessa två. Alifatiskt C minskar med ökande maxbehandlingstemperatur och längre uppehållstider (Steiner et al. 2016). I en metastudie från 2015 nämner Wang et al. att det labila kolet i genomsnitt utgjorde 3 % och det stabilare aromatiska strukturerna 97 % av de prover av olika biokol som undersöktes. Det alifatiska C hade en medelvistid på 108 dagar i försöket och det aromatiska C hade en medelvistid på 556 år (Wang et al. 2016). Andra menar att C i biokol kan ha en halveringstid på mellan 150-5000 år (Fransson et al. 2020).

## 2.2 GRONINGSPROCESSEN

Grundläggande för att ett frö ska gro är att det finns tillräckligt med fukt, att eventuell nödvändig frövila är klar, att viss temperatur uppnås och att det finns syre samt ljus att tillgå. Vad som krävs för att ett frö ska gro och andra faktorer som kan påverka groningen positivt eller negativt är arts specifikt (Heslop-Harrison 2024). Utöver detta är det andra faktorer som kan påverka groningen. Studier har visat att

högt pH samt hög andel lösliga salter (hög elektrisk konduktivitet) kan påverka groningenprocessen, men detta är likaså mycket artspecifikt (Stubbenieck 1974; Perveen et al. 2008; Jafarzadeh & Aliasghar zad 2007; Wang et al. 2022). Biokol har neutralt till alkaliskt pH, mellan 7-13. Konduktiviteten hos biokol kan skilja från mellan 0,7 mS/cm till 173 mS/cm (Thomsen 2022).

### 2.2.1 Konduktivitet och pH – påverkan på groningenprocessen hos korn, sockerbetor och raps

Korn (*Hordeum vulgare*) tillhör växtfamiljen gräs (*Poaceae*). Gräsarter påverkas generellt mycket lite av pH-värdet. Den kritiska groningennivån nås under pH 4,0 och över 11,5 (Stubbenieck 1974). Perveen et al. (2008) menar att korn är mer tolerant än andra spannmål mot alkaliska jordar och mindre tolerant mot sura jordar. pH-nivåer mellan 6,0 och 8,5 är generellt det bästa för groningen. Korn klarar sig även bra vid höga salthalter i jorden (Perveen et al. 2008).

Skörden av sockerbetor (*Beta vulgaris*) minskar med ökad salthalt, men känsligheten för salter varierar med sammansättningen av dessa i vatten och växtstadiet som sockerbetan är i. I ett försök av Jafarzadeh och Aliasghar zad (2007) undersöktes sockerbetors tolerans mot höga salthalter vid groningen samt dess påverkan på rotlängden. Resultatet visade att låga salthalter vid 2 dS/m gav positiva effekter på både frögroning och plantrotslängd i jämförelse mot kontrollen på 0 dS/m. Grobarheten blev signifikant reducerad vid 8 dS/m och rotlängden vid 4 dS/m (Jafarzadeh & Aliasghar zad 2007). Khayamim et al. (2014) konstaterade samma sak i ett liknande försök. Författarna drog slutsatsen att det kan skilja något mellan olika sorter av betfrön, men att groningen hämmas signifikant av saltstress (Khayamim et al. 2014). Det finns begränsat med data tillgängligt angående sockerbetans groningen och tillväxt vid olika pH-förhållanden, det menar Geng et al. (2021). I ett försök undersöktes tillväxtstatus och fenotyp hos sockerbetan vid pH 5, respektive 7,5 och 9,5. Resultatet visade att tillväxten var som bäst vid pH 9,5 och sämst vid pH 5 (Geng et al. 2021). Huruvida groningen påverkades framkom inte.

Wang et al. (2022) undersökte rapsfröns (*Brassica napus*) groningenförmåga och planttillväxt under neutral och alkalisk saltstress. Resultatet visade att vid låga koncentrationer av både neutralt och alkaliskt salt främjades skotttillväxten. Vid pH 7,1 och 8,0 skilde inte frögroningen signifikant i någon av koncentrationerna av NaCl och inte heller vid pH 9,0-11,0 i de lägre saltkoncentrationerna. Frögroningen minskade däremot signifikant vid rikliga saltkoncentrationer i det senare nämnda pH-spannet. Sammanfattningsvis påverkar pH alltså huvudsakligen frögroning och planttillväxt hos *Brassica napus* genom en interaktion med saltjoner och inte endast på egen hand (Wang et al. 2022).

### 3. MATERIAL & METOD

För att undersöka hur biokol påverkar groningen av lantbruksgrödor valdes följande material och metod. Försöket var belagt i växthus som ett krukförsök. Samma jord användes i alla led och jorden som användes var lätt sandjord, taget från jordbruksmark i Östra Tommarp, Skåne. Försöket bestod av fem olika behandlingsled och fem block som motsvarar 5 replikeringar av varje behandlingsled. Totalt bestod försöket av 25 parceller. Varje parcell innehöll en rad av var gröda – vårkorn, sockerbeter och höstraps.

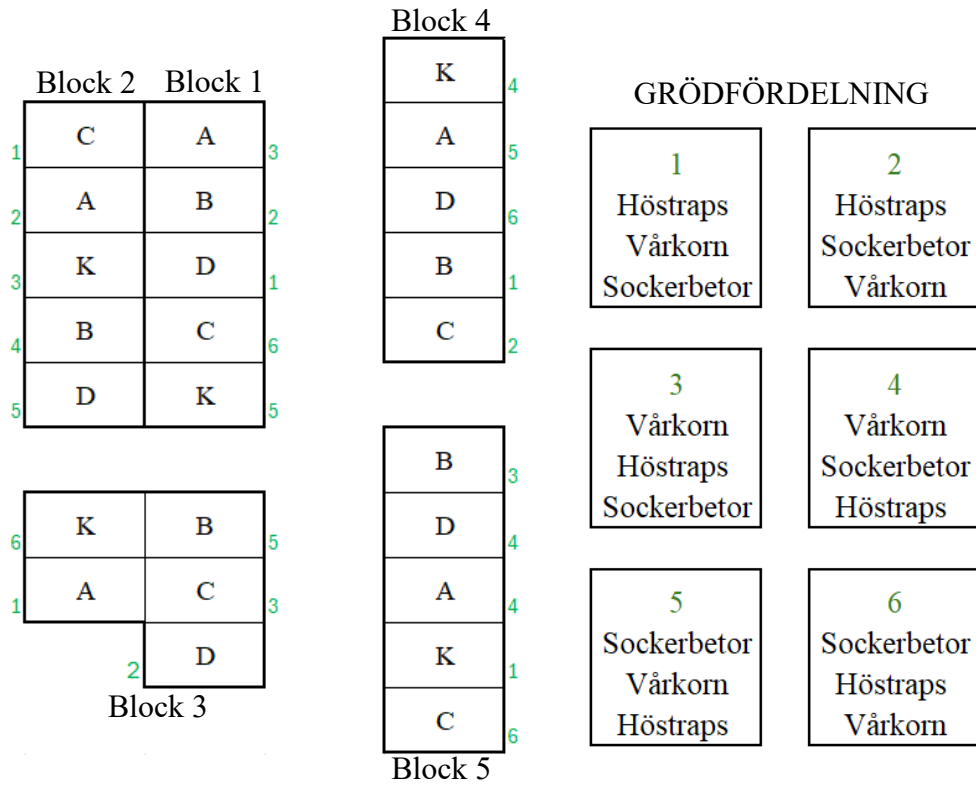
Beskrivning av de olika behandlingsleden:

- **Behandlingsled K:** Kontroll. Ren jord fri från biokol.
- **Behandlingsled A:** Bioagro-biokol, blandad. Bioagro-biokolen var väl inblandad i hela jordprofilen.
- **Behandlingsled B:** Slambiokol, blandad. Slambiokolen var väl inblandad i hela jordprofilen.
- **Försöksled C:** Bioagro-biokol, ovan. Bioagro-biokolen var grunt nedblandad i ytan, ner till cirka tre centimeter i jordprofilen.
- **Försöksled D:** Slambiokol, ovan. Slambiokolen var grunt nedblandad i ytan, ner till cirka tre centimeter i jordprofilen.

#### 3.1 UTFORMNING AV FÖRSÖK

Försöket var belagt i växthus i tråg. Trågen hade måtten 40x30x10 och hade en volym på 12 liter. Varje tråg fylldes med 10 liter material. För kontrollen gäller det ren jord, för behandlingsleden med bioagro-biokol och slambiokol gäller 9 liter jord och 1 liter biokol (10 volym-% biokol). Klimatet i växthuset var 22 °C med ventilation vid 24 °C. Artificiell belysning användes mellan kl. 6:00-22:00. Figur 1 visar hur försöksupplägget såg ut. Grödfördelningen var randomiserad inom blocken och behandlingsleden för att minimera risker för resultatpåverkan på grund av grödplacering inom tråget. Figur 2 visar verkligt foto över försöket innan uppkomst samt sådd i ett tråg.

## FÖRSÖKSUPPLÄGG



Figur 1. Schematisk figur över försöksupplägget (vänster) och grödfördelning (höger).



Figur 2. Verkligt foto över försöksupplägget (vänster) och foto över sådd i ett tråg i behandlingsled K (med grödfördelning nr. 1) (höger). Foton: Emma Book 2024-04-11.

## 3.2 GENOMFÖRANDE

Jorden blandades med 10 volym-% av bioagro-biokol respektive slambiokol i de fyra behandlingsled som innehåller biokol (A, B, C och D). De färdiga parcellerna ställdes ut i respektive block i randomiserad ordning och fick stå till sig i två dygn. Sådd av vårkorn, sockerbeter och höstraps gjordes för hand i varje parcell med ett ungefärligt sådjup på 2 cm för alla fröer. Varje parcell innehöll en sårad av var gröda, och varje sårad innehöll 30 fröer. Sorten för vårkorn var RGT Planet, för sockerbeta Fabienna och för höstraps Exsteel. För att säkerställa grobarheten hos fröerna utfördes ett grobarhetstest i petriskålar som visade 92,5 % grobarhet hos vårkornet och sockerbetorna och 97,5 % hos höstrapsen. Parcellerna fick sedan stå i fyra dygn för att invänta groningen hos fröerna. Antalet uppkomna plantor räknades sedan var dag i sju dagar. Försöket vattnades med kranvatten varje till varannan dag, beroende på upptorkning. Detta gjordes genom att alla behandlingar fick vatten ur slangen samma antal sekunder. Volymen vatten räknades alltså inte, vilket gör att det inte går att säkerställa att alla parceller fick exakt samma mängd vatten. Målet var att hålla jorden fuktig genom försökets gång. Fyra dagar efter att mätningarna var klara togs 3 olika jordprover ur varje behandlingsled och skickades in för grundämnesanalys.

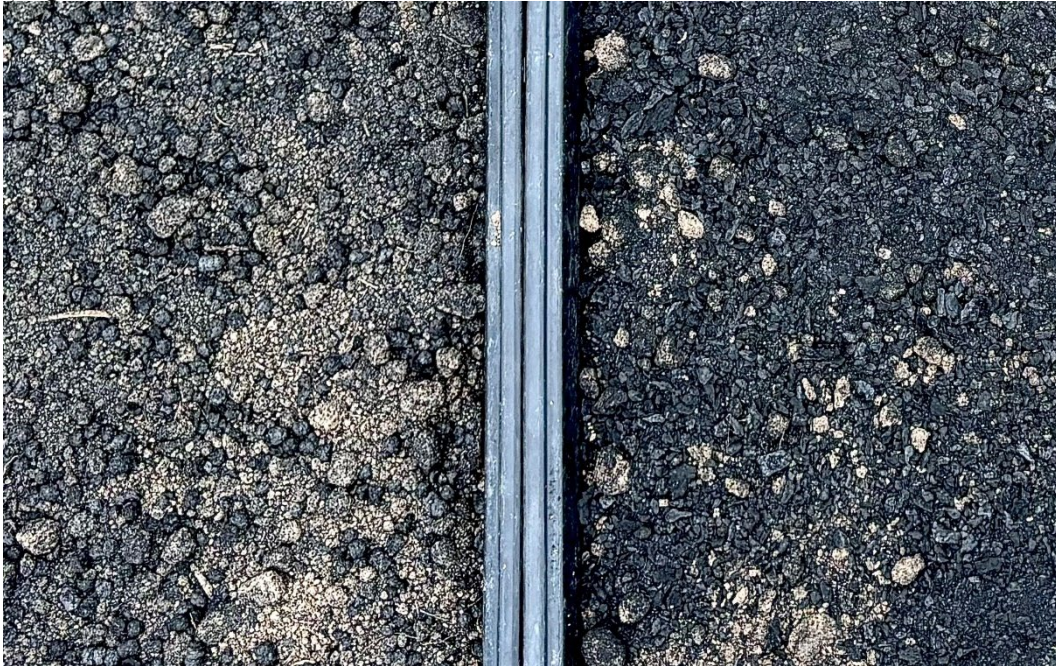
## 3.3 BIKOL

Bioagro-biokolet består ursprungligen av restprodukter från ett frörenseri och är certifierad enligt European Biochar Certificate (EBC) (Skånefrö u.å.). Det innehåller bland annat halm och tomma kärnor som pelleterats för att sedan pyrolyserats. Detta säljs idag till kunder, till skillnad från biokolet gjort på slam. Slambiokolet består ursprungligen av avloppsslam. Pyrolysisprocessen för bioagro-biokolen uppnådde en maximal behandlingstemperatur 700 °C, med en medeltemperatur på 650-670 °C. För slambiokolen var den maximala behandlingstemperaturen ca 80 °C lägre, det vill säga 620 °C. Båda materialen hade en uppehållstid på mellan 15-20 minuter. Materialen gick in i reaktionen på 350 °C, vilket ger en temperaturökningen på mellan 13,5-23,3 °C/min. En viss procent syre fanns med under processen (personlig kommunikation, Börjesson, Skånefrö AB 2024).

Bioagro-biokolets och slambiokolets egenskaper och innehåll skiljde sig från varandra. Bland annat hade bioagro-biokolen ett pH på 10,4, en specifik yta på 132,79 m<sup>2</sup>/g och en elektrisk konduktivitet på 17mS/cm medan slambiokolet hade ett pH på 7,7, en specifik yta på 70,05 m<sup>2</sup>/g samt en elektrisk konduktivitet på 0,1 mS/cm. De båda biokolens struktur skiljde sig likaså från varandra. I bioagro-biokolen var det möjligt att urskilja den tidigare pelletsformen som ursprungsmaterialet haft innan pyrolysen, medan slambiokolen hade



”träflisliknande” struktur (figur 3). Gemensamt för båda biokolen var att materialet utöver dessa större tydliga fragment till största delar var små finkorniga partiklar (något mer i slambiololen).



Figur 3. Foto på de båda biokolens struktur i behandlingsled med biokol placerad ovan (led C och D). Bioagrobiokol till vänster och slambiolokol till höger. Foto: Emma Book 2024-04-11.

### 3.4 JORD

Jorden i försöket var en lätt och sandig lerjord och hade ett pH-värde på 7,9. Jorden är tagen från jordbruksmark för att säkerställa ett så verklighetstroget resultat som möjligt. Detta medförde en stor ogräsfröbank där örtogräs såsom trampört, åkerbinda, fältveronika, svinmålla, rödplister, mjuknäva och åkerrättika (i fallande ordning) återfanns i försöket. Inget gjordes åt ogräsen då de inte störde uppkomsten hos grödorna i försöket. Mer specificerat kring jordens egenskaper och näringsinnehåll finns i tabell 1, där led K representerar jorden utan biokol.

### 3.5 STATISTISK ANALYS

All data bearbetades först i Excel, där en dataanalys gjordes med verktyget ”Anova: Två faktorer utan reproducering”, också kallad Tvåvägs-ANOVA. Detta gjordes för all data från varje enskild dag. Efter att signifikanta skillnader hade identifierats användes statistikprogrammet Minitab där verktyget Tukey’s test tillämpades. Signifikansnivån var satt till under 5 % ( $P=0,05$ ).



## 4. RESULTAT

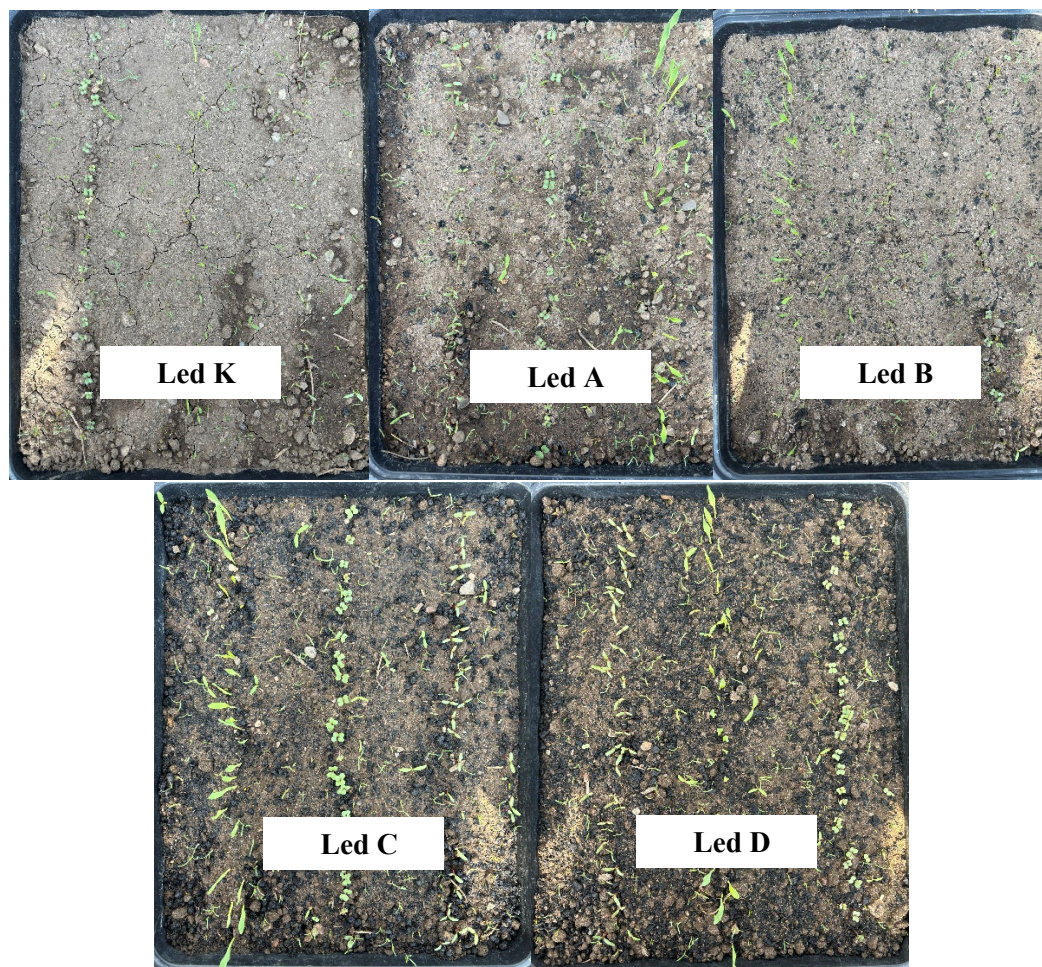
### 4.1 EGENSKAPER I BEHANDLINGSLEDEN

Ur varje behandlingsled togs tre prover innehållande 0,5 kg jord eller blandning med jord och biokol och skickades till LMI AB i Helsingborg. Proverna togs efter avslutat försök, 21 dagar efter att behandlingarna blandats. Tre av leden valdes ut slumpmässigt, varefter proverna togs för hand från 5-6 platser ur varje tråg. Detta för att få ett så representativt provsvar som möjligt. Proverna lades i plastpåsar, märktes upp och skickades till företaget. Medelvärdet från de tre proverna ur var behandlingsled redovisas i tabell 1.

Tabell 1. Grundämnesanalys & kemiska egenskaper i de fem behandlingsleden. Led K: Kontroll, Led A: Bioagro-biokol, väl inblandad i profilen, Led B: Slambiokol, väl inblandad i profilen, Led C: Bioagro-biokol, ovan (grunt blandad i ytan) och Led D: Slambiokol, ovan (grunt blandad i ytan).

Ämne	Enhet	Led K	Led A	Led B	Led C	Led D
pH		7,9	8,2	7,5	8,4	7,5
Ledningstal	mS/cm	0,5	1,0	2,4	1,1	2,7
Kväve	mg/l	3,9	5,5	2,9	3,9	2,3
Nitrat-N	mg/l	4	6	3	4	2
Ammonium-N	mg/l	1	1	1	1	1
Fosfor	mg/l	24	48	31	54	31
Kalium	mg/l	66	287	91	397	107
Magnesium	mg/l	45	47	56	46	61
Svavel	mg/l	5	10	250	13	300
Kalcium	mg/l	1700	1633	1967	1500	2000
Mangan	mg/l	1,2	1,4	1,5	1,4	1,3
Bor	mg/l	0,6	0,6	0,7	0,6	0,8
Järn	mg/l	1,8	4,2	3,9	6,8	3,9
Natrium	mg/l	23	34	26	37	30
Aluminium	mg/l	3,3	6,9	6,9	11,4	6,6

En observation som gjordes var att biokolen som var placerad på ytan (led C & D) höll vatten bättre än resterande led (figur 4).

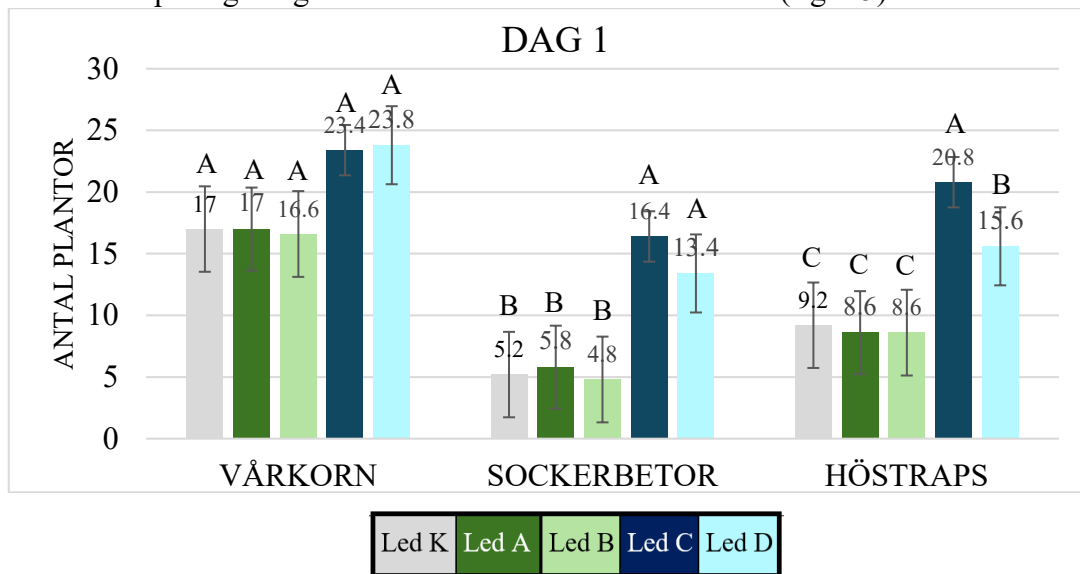


Figur 4. Foto över behandlingsleden vid samma tidpunkt, efter att alla led fått lika stor mängd vatten. Alla foton på behandlingsleden är ur block 1, dag 5 efter sådd. Led K: Kontroll, Led A: Bioagro-biokol - väl inblandad i profilen, Led B: Slambiokol - väl inblandad i profilen, Led C: Bioagro-biokol - ovan (grunt blandad i ytan) och Led D: Slambiokol – ovan (grunt blandad i ytan). Foto: Emma Book 2024-04-16.

## 4.2 DAG ETT

Avläsningarna dag ett visade ingen signifikant skillnad mellan behandlingsleden i vårkorn, men viss tendens till att behandlingsleden skiljer sig återfanns då P var lika med 0,0846. För sockerbetor återfanns signifikanta skillnader ( $P < 0,001$ ) mellan leden med biokol placerat på ytan med en grund blandning (led C och D) mot resterande behandlingsled (K, A och B). Det skiljde inte signifikant mellan typ av biokol (bioagro-biokol och slambiokol) utan snarare placering av biokolen. För höstrapsen skiljde sig bioagro-biokolen som var grunt blandad i ytan (led C) mot resterande led signifikant. Slambiokolen som blandats grunt i ytan (led D) skiljde

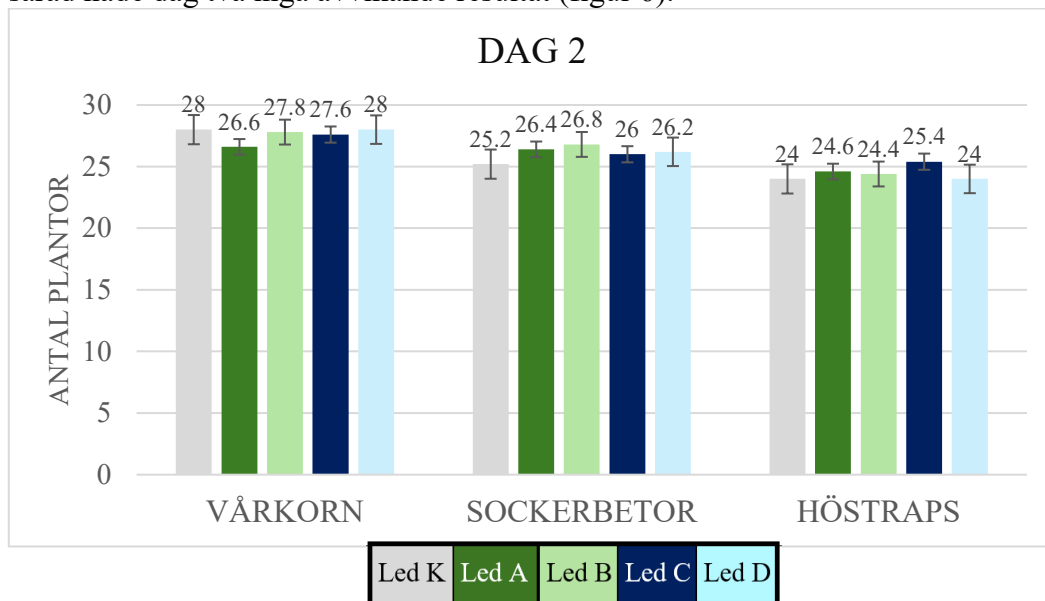
sig likaså signifikant ( $P < 0,001$ ) från resterande behandlingsled. Led K, A och B visade inte på några signifikanta skillnader mellan varandra (figur 5).



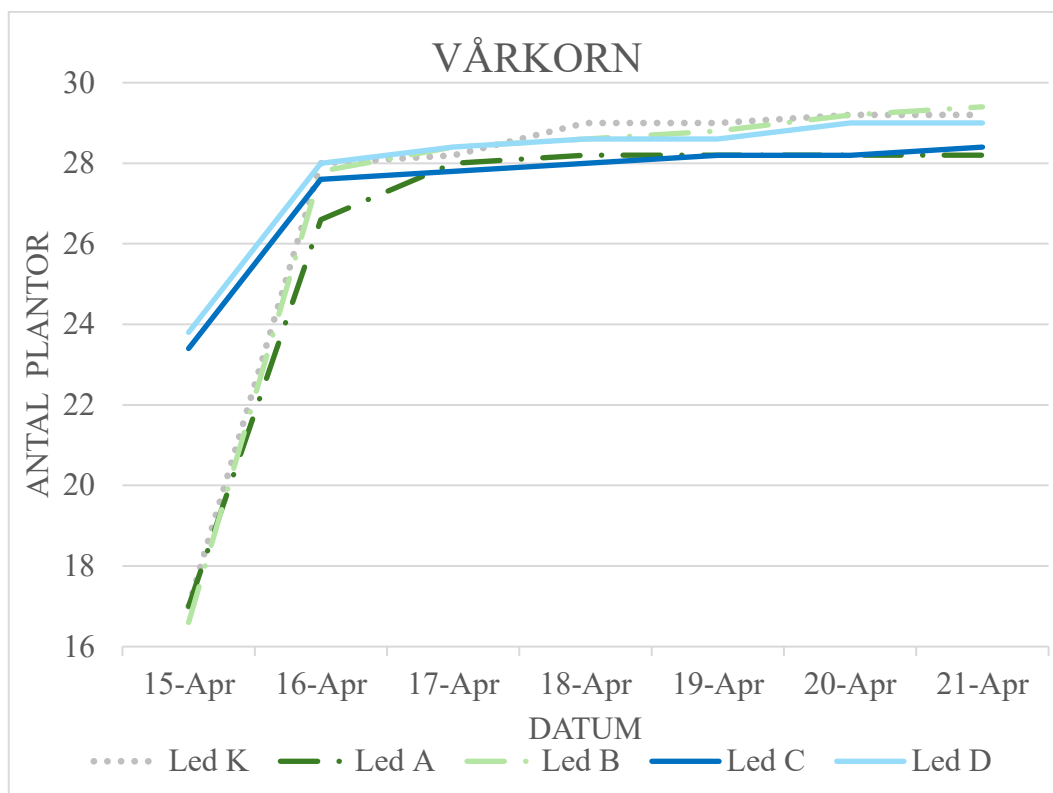
Figur 5. Antalet plantor (st/sårad) för vårkorn, sockerbetor och höstraps den första avläsningsdagen. Bokstäverna indikerar vilka led som skiljer sig signifikant åt i Tukey's test. Led med en gemensam bokstav är inte signifikant åtskilda. Led K: Kontroll, Led A: Bioagro-biokol - väl inblandad i profilen, Led B: Slambiokol - väl inblandad i profilen, Led C: Bioagro-biokol - ovan (grunt blandad i ytan) och Led D: Slambiokol - ovan (grunt blandad i ytan).

### 4.3 DAG TVÅ TILL SJU

Resultaten visade att ingen av behandlingsleden skiljde sig signifikant mot varandra dag två till sju. De led som under första dagen hade färre uppkomna plantor per sårad hade dag två inga avvikande resultat (figur 6).

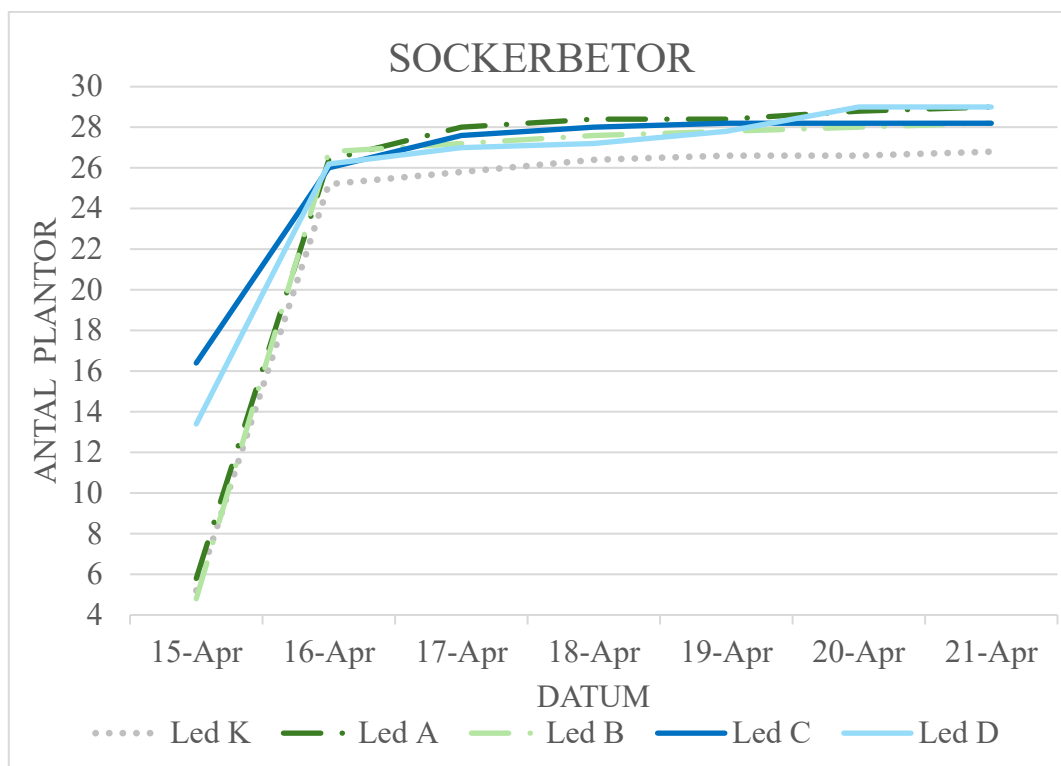


Figur 6. Antalet plantor (st/sårad) andra avläsningsdagen. Led K: Kontroll, Led A: Bioagro-biokol - väl inblandad i profilen, Led B: Slambiokol - väl inblandad i profilen, Led C: Bioagro-biokol - ovan (grunt nedharvad i ytan) och Led D: Slambiokol - ovan (grunt nedharvad i ytan).



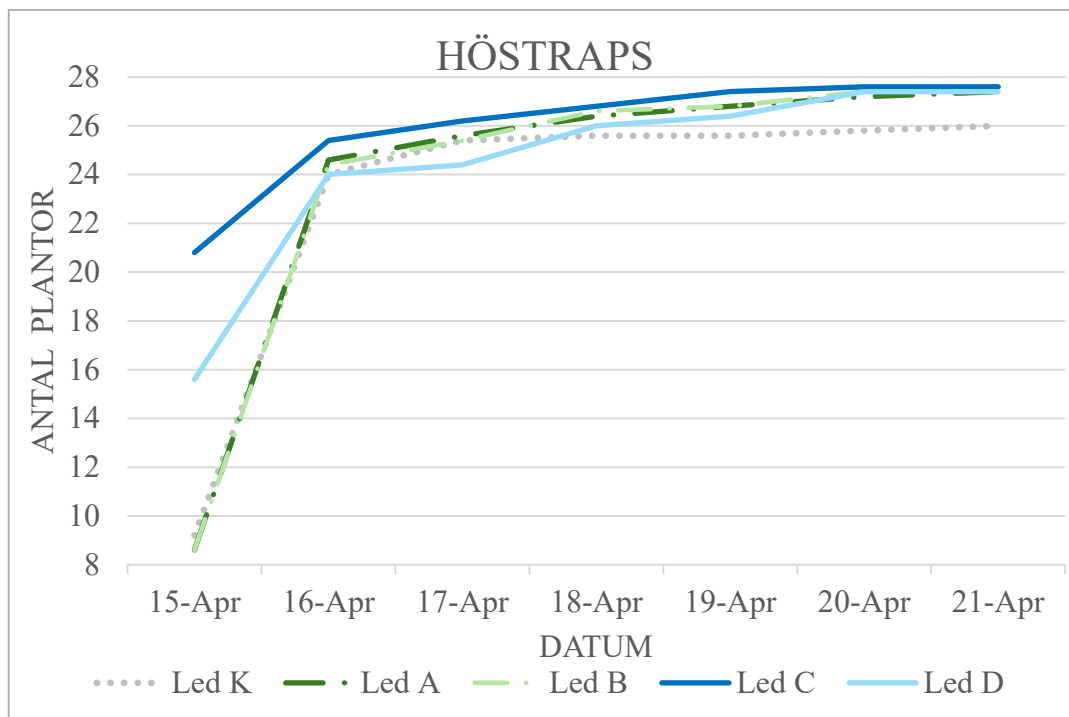
Figur 7. Antalet plantor (st/sårad) för vårkorn genom hela mätperioden (15-21 april). Led K: Kontroll, Led A: Bioagro-biokol - väl inblandad i profilen, Led B: Slambiokol - väl inblandad i profilen, Led C: Bioagro-biokol - ovan (grunt blandad i ytan) och Led D: Slambiokol - ovan (grunt blandad i ytan).

Dag två till sju visar liksom dag ett (figur 5) inte på några signifikanta skillnader hos vårkorn. Intressant är att kontrollen (led K) samt slambiokolen som är väl inblandad (led B) först har bland de sämre resultaten av alla behandlingsled dag ett för att dag sju ha högst resultat i antal uppkomna plantor per sårad, tillsammans med slambiokolen som är grunt blandad i ytan (led D). Bioagro-biokolen som är väl inblandad visar minst antal uppkomna plantor dag ett och håller i det resultatet dag sju. Det skiljer en (1,0) uppkommen planta per sårad mellan behandlingsledet med sämst resultat (led A) mot det med bäst resultat (led B) dag sju (figur 7).



Figur 8. Antalet plantor (st/sårad) för sockerbetor genom hela mätperioden (15-21 april). Led K: Kontroll, Led A: Bioagro-biokol - väl inblandad i profilen, Led B: Slambiokol - väl inblandad i profilen, Led C: Bioagro-biokol - ovan (grunt nedharvad i ytan) och Led D: Slambiokol - ovan (grunt nedharvad i ytan).

Efter dag ett för sockerbetorna är uppkomsten relativt jämna för alla behandlingsled som innehåller biokol. Det var endast dag ett som signifikanta skillnader återfanns enligt Tuckey's test (figur 5). Kontrollledet har något färre uppkomna mot resterande behandlingar dag 2-7. Mellan behandlingar med biokol (led A till D) skiljer det 0,8 plantor, medan det skiljer 2,2 plantor mellan led K och de bästa resultaten. Bioagro-biokolen som är väl blandad i profilen (led A) samt slambiokolen som är grunt blandad i ytan (led D) är de behandlingar som gett det högsta resultatet dag sju (figur 8).



Figur 9. Antalet plantor (st/sårad) för höstraps genom hela mätperioden (15-21 april). Led K: Kontroll, Led A: Bioagro-biokol - väl inblandad i profilen, Led B: Slambiokol - väl inblandad i profilen, Led C: Bioagro-biokol - ovan (grunt nedharvad i ytan) och Led D: Slambiokol - ovan (grunt nedharvad i ytan).

För höstraps resulterade behandlingsled C (bioagro-biokol, grunt blandad i ytan) i flest antal uppkomna plantor per sårad dag ett till sex. Dag sju har led C samt led B samma antal uppkomna plantantal på 27,6 st. Det skiljer dock endast 0,2 plantor mellan behandlingarna med biokol (led A till D) medan det skiljer 1,6 plantor mot kontrollen (led K) (figur 9).

## 5. DISKUSSION & SLUTSATS

### 5.1 DISKUSSION OM FÖRSÖKET

Försöket resulterade i att biokol placerat grunt i ytan, vid denna procentuella inblandning, påverkar groningen av sockerbetor och höstraps positivt genom att påskynda processen med en dag. Vidare observeras något fler uppkomna plantor dag sju hos dessa två grödor i behandlingsled med biokol mot kontrolledet, men P-värdet är högt ( $>0,1$ ) så det går att diskutera om det egentligen är en tillfällighet i just detta experiment (figur 8 & 9). Biokol påverkade inte groningen signifikant hos vårkorn någon av de sju dagarna, men en tendens till signifikanta skillnader påfanns. Detta tror jag dels kan bero på att det grodde mycket snabbare än de andra grödorna och var redan relativt långt kommet i processen när räkningen skedde första dagen. Räkandet av plantor borde alltså påbörjats en dag tidigare. Försöket visade att det spelade större roll var biokolen var placerad för groningen av sockerbetor, snarare än typ av biokol, då både behandlingsled C och D (i båda fall var biokolen grunt myllad i ytan) skiljde sig signifikant mot resterande led dag ett, men inte mot varandra. Däremot syns samma tendenser som i resultatet för höstrapsen – att led C har gett något bättre resultat än D dag ett. Resultatet hos höstrapsen visade att typ av biokol även spelar roll. Dag ett skiljde sig bioagro-biokolen som var grunt myllad i ytan (led C) signifikant mot resterande led med flest uppkomna plantor. Slambiokolen som var myllad i ytan (led D) gav näst bäst resultat och skiljde sig likaså från resterande behandlingsled. Vid höstrapsens groningen spelade alltså både typ av biokol och placering roll.

Resultatet i försöket stämmer delvis överens med det som Jafarzadeh & Aliasgharзад (2007) konstaterade kring ledningstal och groningen av sockerbetor. De såg att låga salthalter på 2 dS/m (är lika med 2 mS/cm) ökade frögroning mot kontrollen på 0 dS/m, medan en konduktivitet över 8 dS/m minskade groningen signifikant (Jafarzadeh & Alisgharзад 2007). Kontrolledet i försöket hade en konduktivitet på 0,5 mS/cm och resterande mellan 1,0-2,7 mS/cm. Det var endast leden med biokol placerat på ytan som skiljde sig signifikant dag ett. Men att det skulle vara konduktiviteten som påverkat detta signifikanta resultat är osannolikt. Dessa led, C och D, har inga liknande parametrar som utskiljer dem mot resterande



led gällande pH, konduktivitet eller näringsämnen. Faktum är att de dessutom skiljer sig mycket från varandra (tabell 1). Det enda som de har gemensamt är att koncentrationen biokol kring fröet är högre i dessa led. En observation som gjordes under försökets gång var att dessa två behandlingsled inte torkade ut lika fort (figur 4). Mindre upptorkning är en möjlig förklaring till de signifikanta resultaten dag ett. En annan möjlig förklaring är att biokolens små partiklar lade sig runt fröet och skapade en nära kontakt, vilket gjorde att fröna fick större yta som var i kontakt med fukt. I de andra leden kan det ha varit större procent av de större jordpartiklar som sand eller kockor som legat närmast fröet och skapat makroporer och hålrum med luft.

Jämförs resultatet för höstrapsen i detta försök mot resultatet som Wang et al. (2022) kom fram till finns en del likheter som kan konstateras. Författarna observerade att skotttillväxten hos raps främjades vid låga koncentrationer av både neutralt och alkaliskt salt. De konstaterade att vid pH 7,1 och 8,0 skiljde inte frögroningen signifikant i någon av koncentrationerna av salter. Vid hög salthalt och pH över 9 påverkades groningen signifikant negativt (Wang et al. 2022). Bioagro-biokolen som var grunt myllad i ytan fick signifikant bäst resultat dag ett hos höstrapsen, och har det högsta pH-värdet på 8,4, men inte så högt ledningstal. Näst bäst var slambiakolen, som har ett nära neutralt pH på 7,5 men ett något högre ledningstal. Å andra sidan har led A och B liknande värden och de tenderade inte till att resultera i en snabbare groningsprocess. Min slutsats gällande resultatet hos höstrapsen är densamma som för sockerbetorna – att en bidragande faktor är att biokolen placerad på ytan höll vatten bättre kring fröet och att det var det som var den avgörande faktorn. Angående att led C och D skiljer sig signifikant från varandra dag ett kan ha att göra med att bioagro-biokolen (led C) hade nästan dubbelt så stor specifik yta som slambiakolen (led D) och att det resulterat i fler små partiklar som legat nära fröet och därmed hållit vatten något bättre. Det kan också vara möjligt att det har med biokolets struktur att göra (påvisas i figur 3). Vid den högre koncentrationen biokol i ytan som led C och D hade, genererade det i fler porösa partiklar kring fröet som möjligen bidrog till att groddarna stötte på mindre mekaniskt motstånd än i resterande behandlingsled. Strukturen skiljde något mellan de båda typer av biokol, vilket kan vara en del av förklaringen till att dessa skiljer sig signifikant åt varandra hos uppkomsten av höstrapsen.

Gällande resultatet för groning hos vårkorn, som inte visade på signifikanta skillnader någon dag som hos de andra två grödorna, kan det bero på att korn är tolerant mot väldigt höga och låga pH värden samt mot höga salthalter i jorden (Stubbenieck 1974; Perveen et al. 2008). Optimalt pH för groning hos vårkorn är mellan 6,0 och 8,5 (Perveen et al. 2008), vilka alla behandlingsled håller sig inom. Vårkornets stora tolerans kan alltså vara en delaktig parameter till resultatet.



I försöket observerades att leden med biokol placerat ovan (led C och D) höll fukten längre än resterande led (figur 4). Det är även en av slutsatserna att det var en bidragande faktor hos resultatet hos sockerbeterna och höstrapsen. Biokol har i andra försök visat på tydligt positiva resultat när de synliga effekterna på torkstress mättes i vete (Chowhury et al. 2024). Målet i detta försök var att det alltid skulle finnas fukt nere kring fröna. Eftersom vattningen sköttes manuellt kunde inte detta garanteras till hundra procent. Biokolets vattenhållande förmåga har spelat roll för resultatet i försöket. Vid framtida förhöjda medeltemperaturer och längre torkperioder (SMHI u.å.) kan biokol tillsatt i jordbruksmark då vara en av lösningarna till att bättre kunna ta vara på det regn som kommer och därmed minska skadorna som torka har på grödor. Biokol i jordbruksmark kan därmed bidra positivt till en mer miljömässig, social och ekonomisk hållbarhet i framtiden. Miljömässigt inte bara för att vattnet hålls kvar längre kring grödornas rötter, utan också för att det bidrar till mindre urlakning av näringsämnen via dränering samt att kol bundits in och bildat en kolsänka i marken som är stabil över lång tid (Fransson et al. 2020). Det kan bidra till den enskilde lantbrukarens sociala och ekonomiska hållbarhet då grödorna eventuellt klarar torka bättre och kan därmed generera högre skördar än om grödan inte fått samma tillgång på vatten.

Min hypotes kring att biokol inte påverkar gröningsprocessen hos lantbruksgrödor förkastas, då behandlingsled med biokol påskyndade gröningsprocessen signifikant dag ett hos sockerbetor och höstraps. Vid denna inblandning på 10 volymprocent biokol fick inte jorden så högt pH eller hög konduktivitet som förväntat. Ledningstalen för behandlingsleden med biokol låg mellan 1,0-2,7 mS/cm (lägre för bioagro-biokolen och högre för slambiokolen). Kontrollen hade ett ledningstal på 0,5 mS/cm (tabell 1). När proverna till jordanalyserna av varje behandlingsled togs gjordes det genom hela jordprofilen, och inte bara de översta centimetrarna där fröna var placerade och sedan grodde. Detta ger något missvisande resultat då pH och den elektriska konduktiviteten förmodligen var högre kring fröet, åtminstone i led C (bioagro-biokol ovan, grunt myllad i ytan). Grundvärdena för bioagro-biokolen gällande pH var 10,4 och konduktiviteten 17 mS/cm. Slambiokolen hade låga värden i sig, med ett pH på 7,7 och en elektrisk konduktivitet på 0,1 mS/cm. Därför antar jag att pH och den elektriska konduktiviteten var högre i behandlingsled C, och kan ha påverkat resultatet.

De färdigblandade behandlingarna fick stå i två dygn innan sådd. Ett möjligt antagande är att biokolen och jorden inte hunnit genomgå diverse kemiska och fysikaliska processer när fröna såddes, och att detta kan ha hänt senare. Ursprungligen hade bioagro-biokolen ett alkaliskt pH, vilket återspeglar sig i jordproverna där led innehållandes denna biokol hade pH på 8,2 (led A) och 8,4

(led C). Den elektriska konduktiviteten för denna biokol var hög – 17 mS/cm. Detta återspeglas inte i jordproverna då led A och C hade ett ledningstal på 1,0 respektive 1,1 mS/cm. Bioagro-biokolen har en specifik yta på 132,79 m<sup>2</sup>/g, vilket innebär att det finns en chans att mycket näringsämnen adsorberats till ytan och inte längre är fytotillgängliga. Detta kan i sin tur vara en av orsakerna till att den elektriska konduktiviteten är relativt låg. Slambiokolens nära neutrala pH återspeglas i behandlingsleden B och D, då de båda har ett pH på 7,5. Den elektriska konduktiviteten var 0,1 mS/cm för detta biokol, vilket inte återspeglar sig i behandlingsleden, då de har de högsta värdena av alla led på 2,4 respektive 2,7 mS/cm. I tabell 1 går det att se att behandlingsleden med slambiokol bland annat innehåller stora mängder Ca och S, vilket kan ha lösts ut från biokolet och påverkat den elektriska konduktiviteten. Slambiokolets specifika yta är nästan hälften så stor som bioagro-biokolets (70,05 m<sup>2</sup>/g respektive 132,79 m<sup>2</sup>/g), vilket ger den sämre förmåga att adsorbere näringsämnen (och vatten). Men, dessa värden på behandlingsleden mättes 19 dagar efter sådd och 21 dagar efter blandning. Detta gör att det kan antas att en del kemiska processer, såsom byte av katjoner, inte var helt genomförda vid groningstillfället och att värdena kanske inte är de samma vid groning som vid provtagning.

Resultatet var att det påskyndade groningsprocessen för sockerbetor och höstraps med en dag. Det ska poängteras att detta var ett växthusförsök med goda förutsättningar för groningsprocessen att starta, med hög temperatur, gott om fukt och mycket ljus. Det går att diskutera kring att resultaten hade kunnat blivit annorlunda i en verklig miljö utomhus på ett fält.

Vid framtida försök bör fler inblandningsprocent jämföras, vattenmängden bör mätas för att säkerställa att alla parceller får lika delar fukt, räkning av plantorna bör ske tidigare än i detta försök och parcellerna bör få stå till sig längre för att säkerställa att de kemiska processerna är längre gångna vid sådd. Vidare bör även försök liknande detta anläggas utomhus på odlingsmark för att få mer verklighetstroga resultat.

Nyttan med att göra detta försök har varit att visa att biokol vid denna koncentration inte påverkar groningen negativt hos någon av grödorna, snarare positivt för sockerbetor och höstraps. Det jämförs olika typer av biokol och olika myllningsdjup för att kartlägga effekterna av dessa på groningen samt för att underlätta beslutsfattande för lantbrukare som i framtiden planerar sprida biokol på åkermark.

## 5.2 SLUTSATS

Slutsatsen från försöket är att biokol som appliceras vid denna koncentration påverkar groningsprocessen positivt för sockerbetor och höstraps dag ett. Resultatet visar en tendens till liknande påverkan i vårkorn. Den slutgiltiga slutsatsen till den bakomliggande orsaken till resultatet i detta försök är att det i första hand är biokolets vattenhållande förmåga som varit avgörande. Via applicering av biokol vid denna koncentration går det alltså att påskynda groningsprocessen, om så bara med en dag.

Sammanfattningsvis går det att dra slutsatsen att det är mer lönsamt för lantbrukare att placera biokol innan sockerbetor eller höstraps än vårkorn, om man vill dra nytta av de positiva egenskaperna kring påskyndandet av groning som detta försök har visat på.

## REFERENSER

- Ahmad, M., Lee, S.S., Lim, J.E., Lee, S.-E., Cho, J.S., Moon, D.H., Hashimoto, Y. & Ok, Y.S. (2014). Speciation and phytoavailability of lead and antimony in a small arms range soil amended with mussel shell, cow bone and biochar: EXAFS spectroscopy and chemical extractions. *Chemosphere*. 95, 433–441 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.09.077>
- Chiappero, M., Norouzi, O., Hu, M., Demichelis, F., Berruti, F., Di Maria, F., Masek, O. & Fiore, S. (2020). Review of biochar role as additive in anaerobic digestion processes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 131, 110037. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110037>
- Chowdhury, M.S.N., Sani, M.N.H., Siddique, A.B., Hossain, M.S., Yong & J.W.H. (2024). Synergistic effects of biochar and potassium co-application on growth, physiological attributes, and antioxidant defense mechanisms of wheat under water deficit conditions. *Plant Stress*. 12, 100452. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100452>
- Fawzy, S., Osman, A.I., Yang, H., Doran, J. & Rooney, D.W. (2021). Industrial biochar systems for atmospheric carbon removal: a review. *Environmental Chemistry Letters*. 19, 3023-3055. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01210-1>
- Fransson, A.M., Gustavsson, M., Malmberg, J. & Paulsson, M. (2020). Biokolhandboken – för användare. <https://biokol.org/publikationer/pdf/biokolhandboken> [2024-05-14]
- Geng, G., Wang, G., Stevanato, P., Lv, C., Wang, Q., Yu, L. & Wang, Y. (2021). Physiological and Proteomic Analysis of Different Molecular Mechanisms of Sugar Beet Response to Acidic and Alkaline pH Environment. *Frontiers in Plant Science*. 12, 682799. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.682799>
- Heslop-Harrison, J. (2024). *germination*. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/science/germination> [2024-05-12]
- Jafarzadeh, A.A. & Aliasgharzad, N. (2007). Salinity and salt composition effects on seed germination and root length of four sugar beet cultivars. *Biologia*. 62(5), 562-564. DOI: <https://doi.org/10.2478/s11756-007-0111-7>
- Joseph, S., Cowie, A.L., Van Swieten, L., Bolan, N., Budai, A., Buss, W., Cayuela, M.L., Graber, E.R., Ippolito, J.A., Kuzyakov, Y., Ok, Y.S., Palamsooriya, K.N., Shepherd, J., Stephens, S., Weng, Z.H. & Lehmann, J. (2021). How biochar works, and when it doesn't: a review of mechanisms controlling soil and plant responses to biochar. *GCB Bioenergy*. 13(11), 1731–1764. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcbb.12885>

- Kamali, M., Costa, M.E. & Capela, I. (2017). Nitrate removal and nitrogen sequestration from polluted waters using zero-valent iron nanoparticles synthesized under ultrasonic irradiation. *Advanced Materials for Wastewater Treatment*. 13. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119407805.ch13>
- Khayamim, S., Tavkol Afshari, R., Sadeghian, S.Y., Poustini, K., Roozbeh, F. & Abbasi, Z. (2014). Seed Germination, Plant Establishment, and Yield of Sugar Beet Genotypes under Salinity Stress. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 16(4), 779-790. <http://jast.modares.ac.ir/article-23-2487-en.html>
- Lucas, R.E. & Davis, J.F. (1961). Relationships between pH values of organic soils and availabilities of 12 plant nutrients. *Soil Science*. 92(3), 117-182. [https://journals.lww.com/soilsci/citation/1961/09000/RELATIONSHIPS\\_BETWEEN\\_PH\\_VALUES\\_OF\\_ORGANIC\\_SOILS.5.aspx](https://journals.lww.com/soilsci/citation/1961/09000/RELATIONSHIPS_BETWEEN_PH_VALUES_OF_ORGANIC_SOILS.5.aspx)
- Malińska, K., Zabochnicka-Swiqtek, M. & Dach, J. (2014). Effects of biochar amendment on ammonia emission during composting of sewage sludge. *Ecological Engineering*. 71, 474– 478. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.07.012>
- Man, K.Y., Chow, K.L., Man, Y.B., Mo, W.Y. & Wong, M.H. (2021). Use of biochar as feed supplements for animal farming. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 51(2), 187–217. DOI: <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1721980>
- Mirheidari, A., Torbatinejad, N.M, Shakeri, P. & Mokhtarpour, A. (2020). Effects of biochar produced from different biomass sources on digestibility, ruminal fermentation, microbial protein synthesis and growth performance of male lambs. *Small Ruminant Research*. 183, 106042. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2019.106042>
- Osman, A.I., Fawzy, S., Farghali, M., El-Azazy, M., Elgarahy, A.M., Fahim, R.A., Maksoud, M.I.A.A., Ajlan, A.A. Yousry, M., Saleem, Y. & Rooney, D.W. (2022). Biochar for agronomy, animal farming, anaerobic digestion, composting, watertreatment, soil remediation, construction, energy storage, and sequestration: a review. *Environmental Chemistry Letters*. 20, 2385-2485. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01424-x>
- Perveen, A., Naqvi, I.I., Shah, R. & Hasnain, A. (2008). Comparative Germination of Barley Seeds (*Hordeum Vulgare*) Soaked in Alkaline Media and Effects on Starch and Soluble Proteins. *JASEM*. 12 (3), 5-9. DOI: <https://doi.org/10.4314/jasem.v12i3.55457>
- Schmidt, H-P., Hageman, N., Draper, K & Kammann, C. (2019). The use of biochar in animal feeding. *PeerJ*. 7, 7373. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.7373>
- Sivilai, B., Preston, T.R., Leng, R.A., Hang, D.T. & Linh, N.Q. (2018). Rice distillers' byproduct and biochar as additives to a forage-based diet for growing Moo Lath pigs; effects on growth and feed conversion. *Livestock Research for Rural Development*. 30(6), 111. <http://www.lrrd.org/lrrd30/6/lert30111.html>
- Skånefrö. (u.å.) *Vad är biokol?* <https://skanefro.se/vad-ar-biokol/> [2024-05-06]

- SMHI. (u.å.). *Enkel klimatscenariotjänst*. <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/enkel-scenariotjanst/sverige/medeltemperatur/rcp85/2071-2100> [2024-05-15]
- Sohi, S.P., Krull, E., Lopez-Capel, E. & Bol, R. (2010). Chapter 2 - A Review of Biochar and Its Use and Function in Soil. *Advances in Agronomy*. 105, 47-82. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)05002-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)05002-9)
- Stefaniuk, M. & Oleszczuk P. (2016). Addition of biochar to sewage sludge decreases freely dissolved PAHs content and toxicity of sewage sludge-amended soil. *Environmental Pollution*. 218, 242–251. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.06.063>
- Steiner, C., Bayode, A.O., T. & Ralebitso-Senior, K. (2016). Feedstock and production parameters: Effects on biochar properties and microbial communities. I: T. Komang Ralebitso-Senior, Caroline H. Orr. (red), *Biochar Application*. Middlesbrough: Elsevier, ss. 41-51. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803433-0.00002-3>
- Stubbenieck, J.L. (1974). Effect of pH on germination of three grass speices. *Journal of Range Management*. 27, 78-79.
- Thomsen, T. (2022). *Introduction to Production and Use of Biochar 2022: working towards a more circular and bio-based Danish economy*. Roskilde Universitet. Roskilde: Department of People and Technology. <https://forskning.ruc.dk/en/publications/introduction-to-production-and-use-of-biochar-2022-working-toward>
- Toth, J.D. & Zhengxia, D. (2016). Use and impact of biochar and charcoal in animal production systems. *Agricultural and Environmental Applications of Biochar: Advances and Barriers*. 63, 199–224. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub63.2014.0043.5>
- Wang, J., Xiong, Z. & Kuzyakov, Y. (2016). Biochar stability in soil: meta-analysis of decomposition and priming effects. *GCB Bioenergy*. 8, 512-523. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcbb.12266>
- Wang, W., Zhang, F., Sun, L., Yang, L., Yang, Y., Wang, Y., Siddique, K.H.M. & Pang, J. (2022). Alkaline Salt Inhibits Seed Germination and Seedling Growth of Canola More Than Neutral Salt. *Frontiers in Plant Science*. 13, 814755. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.814755>
- Westerlund, M. (1996). *Träkolsframställning i kolmila*. Institutionen för skoglig vegetationsekologi. <https://res.slu.se/id/publ/124312>
- Woolf, D., Amonette, J.E., Street-Perrott, F.A., Lehmann, J. & Joseph, S. (2010). Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature Communications*. 1, 56. DOI: <https://doi.org/10.1038/ncomms1053>

## Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Även om du inte publicerar fulltexten kommer den arkiveras digitalt. Om fler än en person har skrivit arbetet gäller krysset för samtliga författare. Du hittar en länk till SLU:s publiceringsavtal på den här sidan:

- <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>.

JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.