

Effekten av olika bruksmetoder på kolinlagring i åkermark

SANNA MAGNUSSON 2022
MVEM30 EXAMENSARBETE FÖR MASTEREXAMEN 30 HP
MILJÖVETENSKAP - FÖRDJUPNING TILLÄMPAD
KLIMATSTRATEGI, LUNDS UNIVERSITET



Effekten av olika brukningsmetoder på kolinlagring i åkermark

En litteraturöversikt och fältstudie över kolinlagrande
jordbruksmetoder

Sanna Magnusson

2022

Bild framsida: Red Zeppelin, 2021. Unsplash.com



LUNDS
UNIVERSITET

Sanna Magnusson

MVEM30 Examensarbete för masterexamen 30 hp, Lunds universitet

Handledare: Katarina Hedlund, Centrum för miljö- och klimatforskning, Lunds universitet

CEC - Centrum för miljö- och klimatforskning

Lunds universitet

Lund 2022

Abstract

An increased carbon sequestration in agricultural land is an important measure to reduce global warming. Since the soil is a large carbon sink, a small change in the soil organic carbon (SOC) stocks can make a substantial difference to the carbon dioxide content in the atmosphere. An increase in SOC improves the soil health and fertility which in turn gives better yields and a more secure food supply. The purpose of this study is to examine the effect of an application of single and multiple methods in agriculture on soil carbon sequestration. This is achieved through a literature review and field study with analysis of soil samples.

The result of this study shows that application of organic fertilizers increase SOC with 33,5% and application of both organic and inorganic fertilizers increase SOC with 27,9%. Organic amendments and cultivation of cover crops can increase SOC by 23% and 11% respectively. Agroforestry increases SOC by 18,3% but the effect varies in different climates. Generally, the results show a greater effect on SOC from an application of multiple methods rather than individual methods. For example, a combination of reduced or no tilling, organic amendments and cover crops can increase SOC by 50%.

The analysis of soil samples shows a positive effect on SOC when using methods such as application of no till, cultivation of legumes and cover crops, organic fertilization and organic amendments. Significant effects between fields cultivated with these methods compared to control fields were found for soil water capacity, respiration rate and phospholipid content. In general, the greatest effects on SOC were found in fields with the highest number of combined methods. Future field studies should include more sample replicates from a wider time span to increase the accuracy of the assessment.

Keywords: Soil organic carbon, SOC, carbon sequestration, soil health, agriculture, arable land, crop production, Sweden, cover crops, no-till, reduced tilling, organic amendments, harvest residues, crop rotation, legumes, perennial crops, agroforestry, combined management practices.

Ordlista

Agroforestry (skogsjordbruk) - ett samlingsbegrepp för jordbruk som kombinerar träd och buskar med odling av grödor eller djurhållning (Hellman, 2017).

Fånggröda - en gröda som odlas på åkern under/efter odlingssäsongen av huvudgrödan i syfte att minska erosion och näringsläckage från åkern (Michel et al., u.å.).

Jordaggregat - två/flera jordpartiklar som hålls ihop genom t.ex. fastklibbning (Nationalencyklopedin, u.å.a).

Kolflöde till marken- tillförsel av kol till marken från exempelvis rotsystem och växtrester eller organiska gödselmedel (Heinonsalo, 2020).

Kolförråd/kollager - kol som lagras i marken (Heinonsalo, 2020).

Kolsänka - ett ekosystem eller en del av ett ekosystem där kol binds in från atmosfären i ett kollager som bildas av organiskt material (Heinonsalo, 2020).

Lipider - samlande benämning för organiska föreningar som är lösliga i icke-polära lösningsmedel. Ett exempel på lipider är fetter (Nationalencyklopedin, u.å.b).

Mellangröda - en gröda som odlas på åkern under/efter odlings säsongen av huvudgrödan (Michel et al., u.å.).

Mullämne - nedbrutet organiskt material (Nationalencyklopedin, u.å.c).

Nettoinlagring - när inbindningen av kol i marken är större än utsläppen av kol från marken.

Reducerad/ingen jordbearbetning eller plöjning - omfattar alla metoder från direktsådd utan jordbearbetning till plöjning med en begränsad efterbearbetning före sådd. Skillnader mellan metoder är bland annat bearbetningsdjupet och kraven på hantering av skörderester (Jordbruksverket, 2008).

Respiration - andning (Nationalencyklopedin, u.å.d).

Samodling - att två eller flera kulturer odlas tillsammans på samma yta, under samma år och under en större del av växtsäsongen. Växterna kan sås och skördas tillsammans eller vid olika tillfällen (Norén, 2013).

Täckgröda - en gröda som odlas på åkern under/efter odlings säsongen av huvudgrödan i syfte att exempelvis hålla ogräs borta eller minska erosion från åkern (Michel et al., u.å.).

Vattenkapacitet - vattenhållande förmåga.

Växtrotation/växtföljd - en metod inom trädgårds- och åkerbruk där grödorna odlas omväxlande (Nationalencyklopedin, u.å.e).

Innehållsförteckning

Abstract 5

Ordlista 7

Innehållsförteckning 9

1. Introduktion 11

- 1.1 Organiskt kol i marken 11*
- 1.2 Metoder för en ökad kolinlagring i jordbruksmarken 12*
- 1.3 Kunskapsläge 13*
- 1.4 Syfte och frågeställningar 14*
- 1.5 Avgränsningar 15*

2. Metod 17

- 2.1 Litteraturstudie 17*
- 2.2 Fältstudie 22*
 - 2.2.1 Generell data om fält och applicerade metoder 23*
 - 2.2.2 Insamling av jordprover 24*
 - 2.2.3 Analyser 24*
 - 2.2.3.2 Jordens vattenkapacitet 25*
 - 2.2.3.3 Mikrobiell biomassa 26*
 - 2.2.3.4 Kolhalt 27*
 - 2.2.3.5 Respiration 28*
 - 2.2.3.6 Statistisk analys 28*
- 2.3 Etisk reflektion 29*

3. Resultat 31

- 3.1 Litteraturoversikt 31*
 - 3.1.1 Metadata 31*
 - 3.1.2 Effekten av enskilda metoder på organiskt kol i marken 32*

3.1.3 Effekten av multipla metoder på organiskt kol i marken **34**
3.1.4 Effekten av enskilda och multipla metoder på kolinlagrings-hastigheten i marken
38

3.2 Fältstudie **40**

3.2.1 Analysresultat **40**
3.2.1.1 Vattenkapacitet **40**
3.2.1.2 Kolhalt **41**
3.2.1.3 Mikrobiell biomassa **43**
3.2.1.4 Respiration **47**

4. Diskussion 49

5. Slutsats 57

Tack 59

Referenser 61

Appendix 69

Bilaga 1 **69**

Bilaga 2 **77**

Bilaga 3 **91**

1. Introduktion

1.1 Organiskt kol i marken

En ökad kolinlagring i jordbruksmark har pekats ut som en viktig åtgärd för att minska den globala uppvärmningen (de Coninck et al., 2018). Marken utgör en stor kolsänka och lagrar ungefär dubbelt så mycket kol än vad som finns i atmosfären, vilket betyder att en liten förändring av kollagren i marken kan göra stor skillnad för koldioxidhalten i atmosfären (Batjes, 1996). Vid klimatmötet i Paris 2015 presenterades det så kallade fyra promille-initiativet, vilket innebär att kollagren i åkermarken ska ökas med fyra promille varje år. Detta skulle innebära att en betydande del av kolet som släpps ut från fossila bränslen kan bindas in från atmosfären (4per1000, u.å).

I marken finns organiskt kol bundet i organiskt material i form av dött material från växter, mikrober och djur som befinner sig i olika stadier av nedbrytning (Johnston et al., 2009). Från början tas kol upp från atmosfären av växter som omsätter det till kolhydrater via fotosyntesen (Whalen & Sampedro, 2010). När växterna dör eller blir uppätta återförs en stor del av kolet till atmosfären genom metaboliska processer hos markorganismer och genom växtrespiration, men en del av kolet blir kvar i marken som organiskt material (Whalen & Sampedro, 2010). Mängden organiskt kol som blir kvar i jorden är beroende av tillförseln av organiskt material till marken, hur snabbt det organiska materialet bryts ned, hur mycket organiskt kol som mineraliseras samt jordtexturen och klimatet (Johnston et al., 2009). Under nedbrytningsprocessen av organiskt material genereras en del svårnedbrytbara föreningar som kan vara kvar i marken under en längre tid (tiotals eller hundratals år). Detta sker genom att mikroorganismer bildar humusämnen eller att de stabiliserar det organiska materialet fysiskt, biokemiskt eller kemiskt (Whalen & Sampedro, 2010).

Organiskt material i marken förbättrar både biologiska, kemiska och fysiska egenskaper i marken (Hati et al., 2007). Det bidrar bland annat till en förbättrad jordstruktur genom att det håller ihop och stabiliserar mineralpartiklar i större aggregat vilket möjliggör större porer i jorden som ökar vatteninfiltrationen och utbytet av gaser (Johnston et al., 2009). Organiskt material har även en positiv effekt på katjon- och anjonbyteskapaciteten genom positivt och negativt laddade organiska molekyler (Johnston et al., 2009), vilket medför att essentiella näringsämnen kan hållas kvar i marken bättre för att sedan tas upp av växter (Whalen & Sampedro, 2010). Organiskt material i jorden kan även ge en ökad bördighet (Bolinder et al., 2010), ökad

vattenkapacitet (Hati et al., 2007), minskad erosion (Van Oost et al., 2007) och ökad biodiversitet både ovan och under jord (Johnston et al., 2009).

Att öka kolhalten i marken är en långsiktig process (Popleau & Don, 2015; Haddaway et al., 2017) och idag är utsläppen av kol från jordbruksmarken större än inbindningen (Naturvårdsverket, u.å.) på grund av vanliga brukningsmetoder som används i jordbruket, såsom plöjning och korta växtföljder med årliga grödor (Hedlund, 2012). Dessa metoder utarmar jorden och gör den fattig på mull- och näringsämnen, vilket innebär att marken släpper ut mer kol till atmosfären (Hedlund, 2012).

1.2 Metoder för en ökad kolinlagring i jordbruksmarken

Inom jordbruket finns ett antal metoder som kan appliceras för att öka kolhalten i marken (Droste et al., 2020). I den systematiska kartläggningen "What are the effects of agricultural management on soil organic carbon in boreo-temperate systems?" av Haddaway et al. (2015) lyfts följande metoder; näringsämnestillförsel (gödning), kvarlämnande/tillförsel av organiskt material, jordbearbetningsmetoder (reducerad plöjning), olika växtföljder, odling av mellangrödor, fånggrödor och täckgrödor, samodling och multipla odlingsmetoder (att kombinera flera av dessa metoder). Att öka inslaget av träd och buskar på åkermark genom så kallat agroforestry är ytterligare en metod som kan öka kolhalten i marken (Ma et al., 2020; Feliciano et al., 2018).

Tillförsel av näringsämnen är viktigt för att öka kolförrådet i marken (Hati et al., 2007). En optimerad gödning ökar produktionen av biomassa vilket i sin tur ökar mängden skörderester och tillförsel av kol från växtrötter till jorden som ger en större potential för kolinlagring i marken (Hati et al., 2007). I områden med näringsbrist ökar mineralgödning produktionen av biomassa (Kätterer et al., 2011) och genom gödning med organiskt gödsel tillförs organiskt material direkt till åkern vilket är effektivt för en ökad kolhalt i marken (Kätterer et al., 2011).

Förutom genom organisk gödning kan organiskt material även tillföras till åkern genom exempelvis skörderester eller kompost (Haddaway et al., 2015). Att lämna kvar blad, stjälkar och rötter samt att inte skörda hela grödan ger mer organiskt material som kan brytas ned i marken vilket ger en större kolinlagring (Kätterer et al., 2011). Beroende på vilken typ av material det är och hur det hanteras kan de brytas ner mer eller mindre snabbt. Växtrester ovan jord bryts ned snabbare än rötter (Kätterer et al., 2011).

Hur jorden bearbetas är ytterligare en faktor som påverkar kollagret i marken (Haddaway et al., 2015). I vissa odlingsystem gynnas växtproduktion av plöjning, exempelvis genom att kompakta jordar bryts upp och skörderester bearbetas ned i jorden där de bryts ned långsammare (Lal et al., 2007). Plöjning kan däremot också bidra till en mer kompakt jord vilket är en av flera anledningar till att reducerad eller

ingen jordbearbetning har intresserat många lantbrukare (Lal et al., 2007). Reducerad eller ingen jordbearbetning innebär mindre mekanisk störning vilket bidrar till en mer stabil jordstruktur med större jordaggregat (Lal et al., 2007).

Ett annat sätt att öka kolhalten i marken är att göra väl avvägda val kring vilka grödor som inkluderas i växtföljden och när de odlas (Land & Scharin, 2021). Olika växtarter och sorter är olika krävande och påverkar kolförrådet på olika sätt. Viktiga faktorer är växtarternas förhållande mellan skott och rötter samt biomassans kemiska sammansättning som båda påverkar nedbrytningshastigheten i marken (Kätterer et al., 2011). En växtföljd som exempelvis innehåller perenna grödor kan bidra mycket till jordbildning och kolinlagring i marken genom att grödorna växer under en längre tid under växtsäsongen och täcker marken året runt (Crews et al. 2018).

Att ha ett kontinuerligt, levande växttäck på åkern är ännu ett sätt att öka tillförseln av kol till marken (Haddaway et al., 2015). Odling av mellangrödor, fånggrödor och täckgrödor efter odlingsäsongen ger en större produktion av biomassa på åkern genom att förlänga odlingsäsongen, vilket ökar tillförseln av organiskt kol till marken (McClelland et al., 2021). Genom att minska jorderosion ger mellangrödor, fånggrödor och täckgrödor även en minskad förlust av organiskt kol i marken (De Baets et al., 2011). Samodling är en metod som innebär att två eller flera grödor odlas samtidigt på åkern i syfte att bland annat få en större avkastning (Lithourgidis et al., 2011). Genom att kombinera flera grödor kan man mer effektivt utnyttja den tillgängliga näringen i marken. Samodling kan dessutom öka markens bördighet vid exempelvis inkludering av baljväxter som är kvävefixerande (Lithourgidis et al., 2011).

Agroforestry har i internationella sammanhang visats ha positiva effekter på kolinlagring i marken (Mutuo et al., 2005). I Sverige är det fortfarande ovanligt med agroforestry och det finns främst i form av alléodlingar, läplanteringar och buffertzoner med träd (Klimatpolitiska vägvalsutredningen, 2020).

En kombination av så många av de ovan nämnda metoderna som möjligt ökar potentialen för en nettoinlagring av kol i marken (Paustian et al. 2016). Det är därför intressant att studera multipla metoder och vilken effekt olika kombinationer av metoder har på kolinlagringen i marken.

1.3 Kunskapsläge

Haddaway et al. (2015) lyfter ett antal kunskapsluckor i forskningsområdet, som bland annat handlar om ett behov av systematiska översikter över effekterna på kolhalten i marken av en reducerad plöjning och av olika sorters växtföljder. Dessa luckor fylldes i av Haddaway et al. (2017) "How does tillage intensity affect soil organic carbon? A systematic review" och Land et al. (2021) "Växtföljders påverkan på inlagring av organiskt kol i jordbruksmark". Haddaway et al. (2015) lyfter även odling av

mellangrödor, fånggrödor och täckgrödor samt samodling som metoder för en ökad kolinlagring, men här är kunskapsluckorna i forskningen större.

Systematiska litteraturöversikter har alltså gjorts över effekten på kolinlagringen i marken av jordbearbetning och olika växtföljder (Haddaway et al., 2017; Land et al., 2021), men saknas för resterande tidigare nämnda metoder. Därför är det i denna studie intressant att komplettera dessa systematiska översikter med en sammanställning av metaanalyser för att undersöka effekten på kolinlagringen i marken av organiska tillsatser (så som skörderester och kompost), näringsämnestillförsel, odling av mellangrödor, fånggrödor och täckgrödor, samodling, agroforestry och multipla odlingsmetoder.

1.4 Syfte och frågeställningar

Syftet med denna studie är att undersöka och sammanställa effekten av enskilda och multipla jordbruksmetoder på inlagring av organiskt kol i åkermark. Detta uppnås genom en litteratursammanställning av metaanalyser, samt genom en fältstudie med insamling av jordprover från åkermark i Skåne för analys på labb. På så sätt utvärderas effekten av dessa metoder i praktiken. Vidare ska effekterna som framgår i fältundersökningen jämföras med effekterna som presenteras i den vetenskapliga litteraturen.

Jag anser att detta ämne ur ett miljövetenskapligt perspektiv är viktigt att studera för att öka kunskapen om hur olika metoder inom jordbruket kan användas för att lagra in kol från atmosfären och på så sätt minska effekterna av klimatförändringen. Att studera dessa metoder är även viktigt för att förbättra markhälsan och uppnå ett långsiktigt hållbart jordbruk, och därmed säkra den framtida livsmedelsförsörjningen. Målet med denna studie är att den ska kunna bidra med kunskap och användas som underlag till utformning av åtgärds paket för kolinlagring inom projektet Svensk kolinlagring. Detta ska uppnås genom att besvara följande frågeställningar;

1. Vilken effekt har enskilda metoder (organiska tillsatser, näringsämnestillförsel, odling av mellangrödor, fånggrödor och täckgrödor, samodling eller agroforestry) och multipla metoder på inlagring av organiskt kol i marken?
2. Vilken effekt har en applicering av multipla metoder på inlagring av organiskt kol i skånsk åkermark?

1.5 Avgränsningar

Arbetet utfördes mellan 17 januari och 9 juni 2022 och för att göra studien möjlig att genomföra inom denna tidsram har ett antal avgränsningar applicerats. Studien syftar till att undersöka effekten av olika metoder inom jordbruket på halten av organiskt kol i marken. Jordbruk har avgränsats till växtodling, och därmed ingår ej metoder som appliceras i exempelvis fruktodlingar eller på betesmarker.

Studien har även avgränsats till de brukningsmetoder som identifierats i den systematiska kartläggningen av Haddaway et al. (2015) gällande effekten av olika jordbruksmetoder på organiskt kol i marken i den boreala regionen. I denna studie exkluderas ett antal jordbruksmetoder som Haddaway et al. (2015) beskriver är en kombination av jordbruksmetoder och klimatåtgärder, som exempelvis tillförsel av biokol, odling av energigrödor/grödor för biomassa eller nya grödor såsom perenna spannmål. Dessa metoder är relativt nya och saknas i större utsträckning i litteraturen.

Analys av jordprover görs i syfte att studera effekten av olika metoder på inlagring av organiskt kol i skånsk åkermark. Övriga effekter från appliceringen av dessa metoder, såsom påverkan på biologisk mångfald eller näringsläckage, är utanför omfånget av denna studie.

2. Metod

2.1 Litteraturstudie

Litteraturstudien består av en översikt av vetenskaplig litteratur i form av metaanalyser. I en metaanalys vägs effekter samman från enskilda studier som undersökt samma jämförelsealternativ, och resultatet presenteras som ett viktat genomsnitt av effekterna i de enskilda studierna (Land et al. 2021). På grund av tidsomfånget av denna studie fick översikten avgränsas till endast metaanalyser eftersom forskningsområdet är stort med ett stort antal publicerade vetenskapliga artiklar. Litteraturöversikten och dess urval av metoder baseras först och främst på den systematiska kartläggningen av Haddaway et al. (2015) som ger en heltäckande bild över forskningsområdet och är applicerbar i en svensk kontext. Detta gör denna kartläggning till en bra grund för avgränsningar och innehåll i denna litteraturstudie.

2.1.1 Litteratursökning och urval

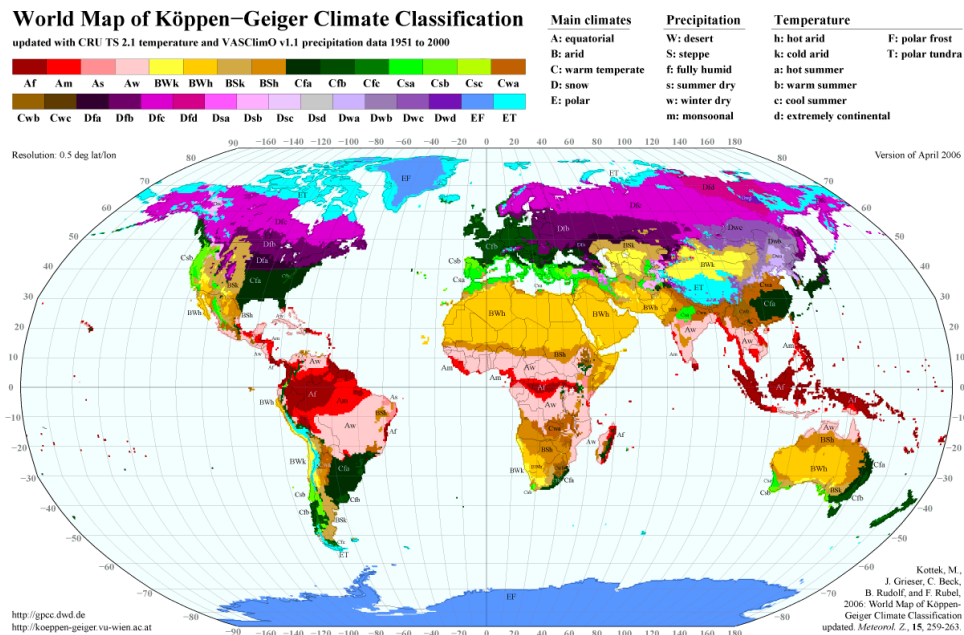
I syfte att komplettera de systematiska litteraturöversikterna av Haddaway et al. (2017) och Land et al. (2021), som undersöker olika jordbearbetningsmetoder och växtföljder, gjordes sökningar efter metaanalyser för resterande metoder (organiska tillsatser, näringsämnestillförsel, odling av mellangrödor, fånggrödor och täckgrödor, samodling, agroforestry och multipla odlingsmetoder). Ett antal artiklar undersöker effekter från fler än en metod och från dessa artiklar har data över effekten från jordbearbetning och olika växtföljder inte noterats då detta redan analyserats av Haddaway et al. (2017) och Land et al. (2021). Litteratursökningen avgränsades till metaanalyser för att hänvisa direkt till de som gjort analyserna, i stället för litteraturöversikter som ofta sammanställer resultat från metaanalyser.

Litteratursökningen utfördes i de vetenskapliga databaserna Web of Science och Scopus (tabell 1). Sökningarna i Scopus syftade till att komplettera sökningarna i Web of Science. En genomgång av fler databaser hade kunnat ge ett ännu mer heltäckande resultat men på grund av tidsramen för projektet valdes enbart dessa två databaser. Utformningen av sökslingorna baserades på sökord som identifierats och prövats av Haddaway et al. (2015). I och med detta gjordes bedömningen att dessa sökningar bör fånga in så många relevanta artiklar som möjligt. Därför gjordes ingen ytterligare prövning av sökningarna, men ett par sökord lades till för att fånga in

ytterligare några metoder som är av intresse i denna studie. Enligt Bernes (2019) bör en fråga, för att kunna avgränsas väl, konstrueras så att den byggs upp av fyra element som definieras så entydigt som möjligt. Dessa fyra element består av; population (föremålet för studien), intervention eller exponering (vilken åtgärd i förhållande till populationen som har studerats, eller vad populationen har exponerats för), kontroll (vad interventionen eller exponeringen har jämförts med i studien) och utfall (vilket utfallsmått som rapporterats i studien). I denna studie är populationen jordbruksmark i boreala och tempererade områden (tabell 1, block 1), interventionen är brukningsmetoder för en ökad kolinlagring i marken (tabell 1, block 2), utfallet är innehållet av organiskt kol (tabell 1, block 3), och kontrollen skiljer sig åt mellan olika studier. Litteratursökningarna gjordes i flera omgångar för olika metoder av praktiska skäl.

Titlar, nyckelord och sammanfattningar har granskats för alla sökträffar för att kontrollera om studierna är relevanta genom att de uppfyller ett antal inklusionskriterier. De artiklar som inte avfärdats i det första steget lästes sedan i sin helhet för en granskning av hela textinnehållet. Följande inklusionskriterier applicerades vid urvalet;

1. Endast studier i form av metaanalyser.
2. Endast studier som berör näringsämnestillförsel, organiska tillsatser, odling av mellangrödor, fänggrödor och täckgrödor, samodling, agroforestry eller multipla odlingsmetoder.
3. Endast studier som undersöker växtodling, alltså ej jordbruk i form av exempelvis vinodling eller betesmarker.
4. Endast studier som redovisar ett kvantifierat mått på kolet i marken, antingen som koncentration (g/kg) eller som förråd (Mg/ha) (Land et al., 2021). Detta inkluderar mått för organiskt kol i jorden. Värden för halten av organiskt material i jorden inkluderas ej på grund av att det inte är direkt jämförbart med organiskt kol.
5. Endast metaanalyser som delvis eller enbart innehåller europeiska studier och som utförts för jord från jordbruksmark i varma tempererade klimatzoner med fuktig väderlek året runt eller torra somrar (motsvarande Köppens klimatregioner; Cfa, Cfb, Cfc, Csa, Csb och Csc) samt från snöklimatezoner med fuktig väderlek året runt (motsvarande Köppens klimatregioner; Dfa, Dfb och Dfc) (Kottek et al., 2006). Klimatzonerna visas på världskartan i Figur 1. Enligt Land et al. (2021) har Götaland och östra Svealand klimatzon Cfb, nordvästra Svealand och Norrland har klimatzon Dfc och mellan dessa zoner samt längs Bottenhavskusten löper ett smalt band med klimatzon Dfb. Övriga klimatzoner (Cfa, Cfc, Csa, Csb, Csc och Dfa) kan enligt Haddaway et al. (2015) också vara relevanta för den svenska miljön.



Figur 1. Världskarta över Köppens klimatzoner. Källa: Kottke et al. (2006).

För att göra urvalet smidigare anpassades den sista litteratursökningen i Web of Science (2022-03-28) och sökningen i Scopus (2022-02-21) till att automatiskt exkludera studier från Kina och Afrika samt studier som berörde risodling och bomull, då artiklar med dessa egenskaper utgjorde en stor andel av sökresultatet i båda dessa sökningar, men är ej relevanta för denna studie.

Litteratursökningen i Web of Science (2022-02-14) resulterade i en inkludering av tio artiklar som berör mellangrödor, fem artiklar som berör agroforestry och nio artiklar som berör gödsling eller andra organiska tillsatser. Sökningarna i Scopus (2022-02-21 och 2022-02-28) genererade enbart dubletter och tillförde därför inga nya artiklar. På grund av att den första litteratursökningen i Web of Science (2022-02-14) inte genererade metaanalyser som berörde samodling, undersöktes även review-artiklar genom ytterligare en sökning i Web of Science (2022-03-15) med samma inklusionskriterier förutom kravet kring att studien ska vara en metaanalys. Även denna sökning gav inga resultat i form av studier som berör samodling. Därmed resulterade litteratursökningen sammanlagt i en inkludering av 24 artiklar.

Tabell 1 Sökschema

Tabellen visar sökschemat för litteratursökning i Web of Science och Scopus.

Databas, datum	Sökord Block 1	Block 2	Block 3	Block 4	Block 5	Avgränsningar	Antal träffar	Urval
#1 Web of Science 2022-02-14	soil* AND (arable OR agricult* OR farm* OR crop* OR cultivat*)	("cover crop*" OR "grass clover" OR "crop* system*" OR "winter crop*" OR "spring crop*" OR "catch crop*" OR "catch-crop*" OR intercrop* OR inter-crop* OR "inter* crop*" OR perennial OR co-cultivat*)	("soil organic carbon" OR "soil carbon" OR "soil C" OR "soil organic C" OR SOC OR "carbon pool" OR "carbon stock" OR "carbon storage" OR "soil organic matter" OR SOM OR "carbon sequestrat*" OR "C sequestrat*")			Språk: Engelska. Sök inom: Alla databaser. Sökfält: Topic. Sökning inom topic: "meta-analysis" OR "meta analysis".	208	10
#2 Scopus 2022-02-21	(soil* AND (arable OR agricult* OR farm* OR crop* OR cultivat*))	("cover crop*" OR "grass clover" OR "crop* system*" OR "winter crop*" OR "spring crop*" OR "catch crop*" OR "catch-crop*" OR intercrop* OR inter-crop* OR "inter* crop*" OR perennial OR co-cultivat*)	("soil organic carbon" OR "soil carbon" OR "soil C" OR "soil organic C" OR SOC OR "carbon pool" OR "carbon stock" OR "carbon storage" OR "soil organic matter" OR SOM OR "carbon sequestrat*" OR "C sequestrat*")	(NOT "chin*" OR "africa*" OR rice OR paddy)	("meta-analysis" OR "meta analysis")	Språk: Engelska. Sök inom: Alla databaser. Search field: Title, abstract & keywords	76	0
#3 Web of Science 2022-02-14	soil* AND (arable OR agricult* OR farm* OR crop* OR cultivat*)	agroforest*	("soil organic carbon" OR "soil carbon" OR "soil C" OR "soil organic C" OR SOC OR "carbon pool" OR "carbon stock" OR "carbon storage" OR "soil organic matter" OR SOM OR "carbon sequestrat*" OR "C sequestrat*")			Språk: Engelska. Sök inom: Alla databaser. Sökfält: Topic Sökning inom topic: "meta-analysis" OR "meta analysis".	31	5

#4 Scopus 2022-02-28	soil* AND (arable OR agricult* OR farm* OR crop* OR cultivat*)	agroforest*	("soil organic carbon" OR "soil carbon" OR "soil C" OR "soil organic C" OR SOC OR "carbon pool" OR "carbon stock" OR "carbon storage" OR "soil organic matter" OR SOM OR "carbon sequestrat*" OR "C sequestrat*")	("meta- analysis" OR "meta analysis")		Språk: Engelska Sök inom: Alla databaser Search field: Title, abstract & keywords	21	0
#5 Web of Science 2022-03-15	soil* AND (arable OR agricult* OR farm* OR crop* OR cultivat*)	intercrop* OR inter-crop* OR "inter* crop*" OR co-cultivat*	("soil organic carbon" OR "soil carbon" OR "soil C" OR "soil organic C" OR SOC OR "carbon pool" OR "carbon stock" OR "carbon storage" OR "soil organic matter" OR SOM OR "carbon sequestrat*" OR "C sequestrat*")			Språk: Engelska. Sök inom: Alla databaser. Sökfält: Topic. Document type: Reviews.	57	0
#6 Web of Science 2022-03-28	soil* AND (arable OR agricult* OR farm* OR crop* OR cultivat*)	fertil* OR bio*solid* OR organic OR manur* OR sewage OR compost* OR amendment* OR digestate* OR "crop residue*" OR "crop straw*" OR mulch*	("soil organic carbon" OR "soil carbon" OR "soil C" OR "soil organic C" OR SOC OR "carbon pool" OR "carbon stock" OR "carbon storage" OR "soil organic matter" OR SOM OR "carbon sequestrat*" OR "C sequestrat*")	NOT ("chin*" OR "africa*" OR rice OR paddy)		Språk: Engelska. Sök inom: Alla databaser. Sökfält: Topic Sökning inom topic: "meta-analysis" OR "meta analysis".	318	9

Litteraturen analyseras med hjälp av ett analytiskt ramverk som strategi för organisering av olika artiklars teman och slutsatser. Det analytiska ramverket konstruerades i Excel, i form av en tabell med tematiseringar (tabell 2) där data från de analyserade artiklarna lades in. Från de analyserade artiklarna har endast lättillgängliga data över effekter med tydliga jämförelser noterats. Detta betyder att artiklarna kan innehålla mer data än vad som tagits med i denna studie, men att den datan antingen kan finnas i figurer eller i text där jämförelsen har varit otydlig. Med mer tid till projektet hade möjligtvis mer data kunnat extraheras ur artiklarna.

Tabell 2 Analytiskt ramverk

Tabellen visar designen av ett analytiskt ramverk.

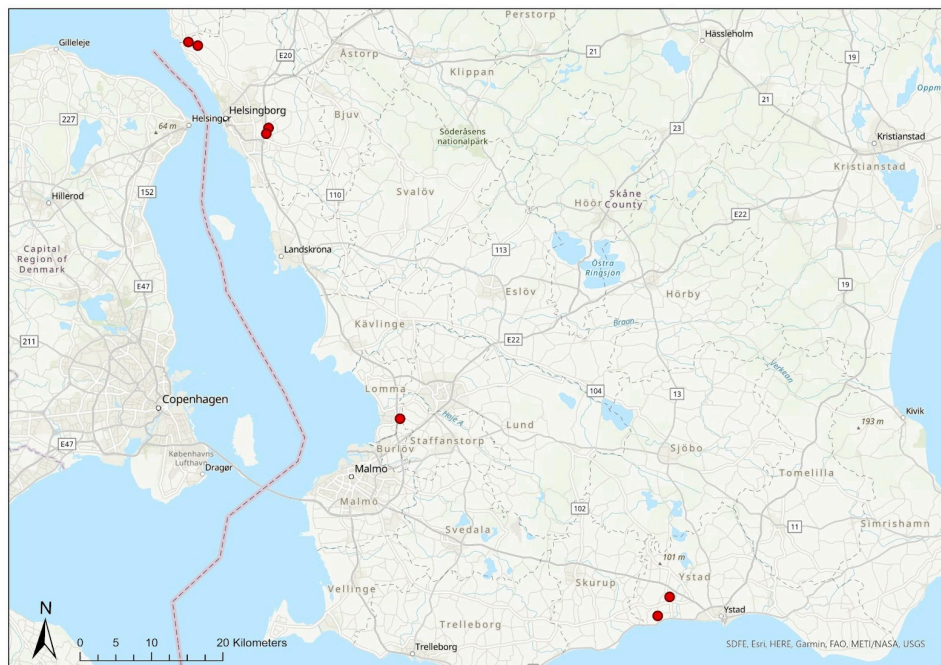
Författare	Titel	År	DOI	Inkludering, motivering	Metod	Geografiskt område	Data	Syfte	Resultat

2.2 Fältstudie

För att besvara studiens andra frågeställning har en fältstudie med insamling av jordprover följt av analyser på labb utförts. Jordprover har samlats in från totalt nio odlingssystem, från sex olika gårdar (figur 2). Identifiering av gårdarna som inkluderades i studien skedde delvis genom kontakt med skånska lantbrukare som är delaktiga i Svensk kolinlagring, och delvis genom kontakter via handledare. Vid urvalet av fält applicerades följande inklusionskriterier;

- Fältet ska brukas med en metod som ökar kolinlagringen i marken, och det ska finnas ett referensfält i närheten där man odlar samma gröda men där en eller flera bruksmetoder skiljer sig åt. Detta för att kunna göra parvisa jämförelser.
- Huvudgrödan år 2022 ska vara samma gröda för alla fält (i detta fall valdes höstvet) för att proverna ska vara jämförbara.
- Fälten ska ligga i Skåne, detta för att inte behöva resa för långt vid provtagning.

I samband med provtagningen sammanställdes information gällande geografisk lokalisering av fälten, växtföljden de senaste fem åren, typen och mängden gödsel samt vilken jordbearbetningsmetod som appliceras på fälten. Denna information har antingen begärts ut från Jordbruksverket, laddats ned från Jordbruksverkets blockdatabas, eller tillhandahållits av Svensk kolinlagring eller lantbrukarna själva.



Figur 2: Karta över ett ungefärligt geografiskt läge för de provtagna fälten. Kartan är gjord i ArcGIS (2022-04-27).

2.2.1 Generell data om fält och applicerade metoder

Syftet vid urvalet av fälten för provtagning var att jämföra ett fält där man applicerat en eller flera metoder som gynnar kolinlagring, med ett kontrollfält där man inte har applicerat en eller flera av dessa metoder. I studiedesignen hamnade fokuset på odling av mellangrödor jämfört med inga mellangrödor samt plöjning jämfört med ingen plöjning. Detta för att detta var de vanligaste metoderna som testas på skånska gårdar inom projektet Svensk kolinlagring. Även fler faktorer såsom gödsling, inkludering av baljväxter och perenna växter i växtföljden skiljer fälten åt vilket gör det möjligt att studera multipla metoders effekt på kolinlagringen i marken.

I bilaga 1, tabell 1 presenteras information om fälten som har provtagits. Den första jämförelsen är mellan fält från gårdarna KR och B i Helsingborg. Här jämförs ett fält där mellangrödor finns i växtföljden och jorden inte plöjs, med ett fält där man inte har mellangrödor och plöjer jorden. Den andra jämförelsen består av två gårdar från Ystad, med två fält från gård C (fält CR och CV) där man har haft plöjningsfritt i cirka 20 år, och ett fält från grannen T där marken plöjs. Den tredje jämförelsen består av två gårdar i Viken, med ett fält från HC där man odlar mellangrödor och plöjningsfri jordbearbetning och ett fält hos grannen HG som också har plöjningsfri

jordbearbetning men odlar inga mellangrödor. Den fjärde jämförelsen är två olika odlingsystem från SITES Lönnstorps forskningsstation (Barreiro och Albertsson, 2022). Här jämförs en konventionell odling (KV) där det finns mellangrödor i växtföljden och jorden plöjs, med ett fält i ett agroekologiskt intensifierat system (AI), där man plöjer jorden och odlar inte mellangrödor. Däremot hålls fältet grönt över vintern genom höstgrödor samt små buskar och träd (SITES, 2022). I bilaga 1, tabell 2 presenteras en sammanställning av vilka och hur många metoder för kolinlagring som appliceras på varje fält i studien.

2.2.2 Insamling av jordprover

På varje fält tas tre replikat (fyra replikat för KV och AI där det finns fyra replikat av odlingsystemen) och totalt samlades 29 jordprover in. Ungefär hälften av jordproverna samlades in av Jens Blomquist den 24e och 26e mars 2022. Vid denna provtagning användes en murslev för att samla in jord på noll till tre cm djup. Resterande jordprover samlades in den 25e april, denna gång med en jordborr som sänktes ned cirka fem cm i jorden på cirka tio platser i närheten av varandra. Jorden placerades i en plastpåse och påsen markerades med namnet på provet. Första steget innan alla analyser var att jorden silades genom en sil med maskvidd två mm. Finjorden som passerat sållet samlades i plastpåsar och förvarades i kyl för att den inte skulle torka ut.

2.2.3 Analyser

Förändringar i markens kollager sker långsamt och på grund av att kollagret är svårt att mäta är det svårt att se små förändringar i det (Heinonsalo, 2020). Det sker dessutom naturliga förändringar i markens kollager vilket gör att det först efter tiotals år går att se statistiskt betydelsefulla effekter av metoder. För att se förändringar i kollagret mäts därför indirekta indikatorer på kolinlagring (Heinonsalo, 2020). I denna studie mäts följande faktorer i marken som är indikatorer på kolinlagring; kolhalt, mikrobiell biomassa, biologisk aktivitet (respiration), samt jordens vattenhalt och vattenhållande förmåga.

2.2.3.1 Vattenhalt i provet

Markens vattenhalt mättes för att användas till analysen av mikrobiell biomassa och biologisk aktivitet (respiration). Deglar vägdes och fylldes sedan till $\frac{2}{3}$ med silad jord (figur 3). Vikten för degel + jord antecknades med två decimaler. Proverna torkades sedan i ugn vid 105 grader i cirka 2 dygn och vägdes sedan in på nytt. Vattenhalten (i %) i jorden beräknades sedan genom; $100(b-c)/b-a$ där; a= vikt av degel (g), b= vikt

av degel + frisk finjord (g) och c = vikt av degel + torkad finjord (g) (Växtekologiska institutionen, 1977).

2.2.3.2 Jordens vattenkapacitet

Jord placerades i cylinderrör med ett tygfilter i (figur 4). Cylinderrören med jord placerades i en sil och sänktes ner cirka 1 cm i vatten och lämnades där över natten för att suga upp maximal mängd vatten. Därefter lyftes proverna upp från vattnet och droppade av i cirka tre timmar tills de slutat droppa. Provet och filterpapperet avlägsnades från cylindern och jordens vikt mättes. Sedan placerades proverna i glasbehållare/degel för att torkas i ugn på 105 grader under cirka tre dygn. Den torkade jorden vägdes och viktskillnaden mellan blöt och torr jord beräknades. Denna vikt divideras med torrvikten på jordprovet. Detta värde representerar jordens vattenhållande kapacitet (Växtekologiska institutionen, 1977).



Figur 3: Jordprover i deglar innan torkning.

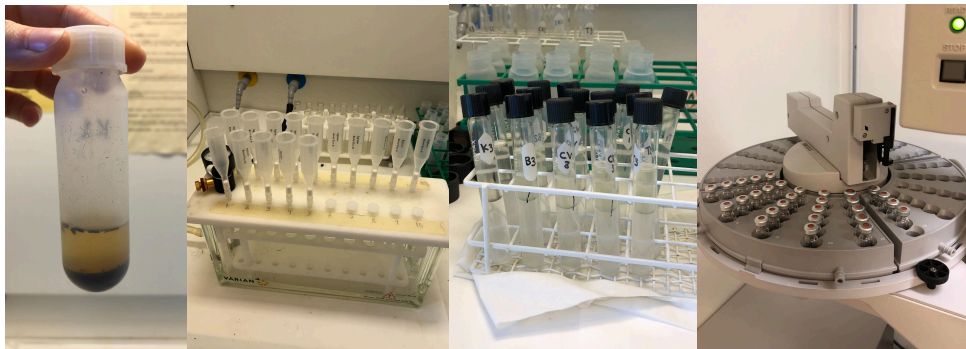


Figur 4: Jordprover i cylinderrör nedsänkta i vatten.

2.2.3.3 Mikrobiell biomassa

Vid bestämning av den mikrobiella biomassan i jordproverna analyserades fosfolipider (PLFA) och neutrala lipider (NLFA) genom gaskromatografi (GC). Fosfolipider finns i membranet i alla levande celler och när organismer dör bryts de ner snabbt. Den totala mängden fosfolipider kan därför användas för att mäta den levande biomassan i miljön (Frostedgård et al., 1991).

I upparbetningen av proverna användes följande metoder; extraktion av lipider (figur 5) (Bligh and Dyer, 1959; White et al., 1979; Frostedgård et al., 1991), fraktionering/separation av lipider (figur 6) och mild alkalisk metanolys (transesterifiering) (figur 7) (Frostedgård et al., 1993; Olsson et al., 1995). Efter dessa steg tillsattes proverna till vialer och analyserades i GC (figur 8). Analysresultatet importerades till excel och den relativa retentionstiden till den interna standarden (19:0) som tillsatts till proverna beräknades för samtliga toppar. Sedan beräknades halten av bakteriella PLFA (i15:0, a15:0, 15:00, i16:0, 16:1w9, i17:0, a17:0, cy17:0, 18:1w9, cy19:0), nedbrytande svamp med PLFA (18:2w6) och arbuskulär mykorrhiza med NLFA (16:1w5) för varje prov.



Figur 5: Extraktion av lipider.

Figur 6: Separation av olika lipider (neutrala lipider, glykolipider och fosfolipider).

Figur 7: Fettsyror separeras från lipider och överförs till metylestrar.

Figur 8: Vialer placerade i gaskromatografen.

2.2.3.4 Kolhalt

Kolhalten i jordproverna analyserades i en elementanalysator som mäter kol och kväve i förbränningsgaser från bland annat jordprover. I denna studie analyserades både halten av organiskt och oorganiskt kol, men det är främst organiskt kol som är intressant. I första steget vägdes mellan 5–15 mg av jordproverna upp i tenn- och silverkapslar. Tennkapslarna användes till analysen av total kolhalt i provet och silverkapslarna till halten av organiskt kol i provet. Efter att ha tillsatt jord i tennkapslarna veks de ihop till en liten kub och placerades i en numrerad låda (figur 9). Till silverkapslarna med jord i tillsattes totalt 220 µl saltsyra (2M) som löser upp det oorganiska kolet som blir till CO₂. Proverna i silverkapslarna värmdes och torkades på en värmeplatta i cirka tre timmar (figur 10) innan de veks ihop och placerades i en tennkapsel som i sin tur också veks ihop till en kub. Proverna placerades sedan i elementanalysatorn.



Figur 9: Hopvikta tennkapslar med jordprover i. **Figur 10:** Silverkapslar som torkas på en värmeplatta.

2.2.3.5 Respiration

Olika metoder kan användas för att uppskatta respirationen i ett jordprov, och i denna studie har det gjorts genom analys i headspace GC. I första steget tillsattes ca 1 g jord i en 20 ml vial. Vikten på provet antecknades. Sedan tillsattes vatten så att jorden innehöll ca 50% av sin maximala vattenkapacitet. Proverna stod i kylan med ett lock liggandes ovanpå över natten för att vattnet skulle jämnas ut sig i provet. Med hjälp av tryckluft avlägsnades den gamla luften i provrören och ett lock med membran sattes på (figur 11). Samma sak gjordes för ytterligare fyra referensprover som bara innehöll luft. Proverna inkuberades i rumstemperatur under ca 21 timmar. Sedan mättes mängden CO₂ som utvecklats i proverna på GC. Följande beräkningar användes för att beräkna mängden CO₂ och respirationshastigheten;

$$\text{area CO}_2 \text{ i prov} / \text{lutningen på kalibreringskurvan} = \text{mängd CO}_2 \text{ i prov } (\mu\text{g}) \\ (\text{mängd CO}_2 \text{ i prov } (\mu\text{g}) - \text{medelvärde mängd CO}_2 \text{ i referensprov } (\mu\text{g})) / (\text{vikt prov } (\text{g}) * \text{inkubationstiden (timmar)}) = \mu\text{g CO}_2 / \text{g jord och timme}$$



Figur 11: Provrör med jord inför respirationsmätning.

2.2.3.6 Statistisk analys

För statistisk analys av data användes programmet SPSS. För varje faktor som analyserades gjordes en ANOVA (general linear model) och förutsättningarna för analysen testades genom Levene's test (lika varians) och Kolmogorov-Smirnov's test (normalfördelning) för varje faktor. I de fall när förutsättningarna inte uppfylldes för en ANOVA gjordes i stället ett Kruskal-Wallis test. Vid jämförelser mellan fält som brukas med metoder för ökad kolinlagring och kontrollfält utgjorde ort (de två gårdar som jämförs) random faktor och behandling (kolinlagrande metoder eller kontrollprov) en fixed faktor. Vid andra jämförelser där behandling mot kontroll inte var det som skulle undersökas, utan exempelvis olika jordbearbetningsmetoder utgjorde dessa fixed faktor i stället. ANOVA valdes som modell då den möjliggör en jämförelse mellan behandling och de faktorer som analyseras samtidigt som den tar hänsyn till variationen inom och mellan orterna. Vidare har även Spearmans korrelationskoefficient beräknats för att se sambandet mellan olika faktorer. Spearman valdes då kraven för normalfördelning ej uppfylldes.

2.3 Etisk reflektion

Uppsatsen berör bland annat behandling av personuppgifter till lantbrukare vars gårdar ingår i studien. Enligt Vetenskapsrådet (2017) och det så kallade individskyddskravet ska individer som medverkar i forskning skyddas från skada och kränkning. Det finns inget behov av att presentera privata uppgifter i uppsatsen men när detta har gjorts har godkännande getts.

I denna studie kommer även olika intressen kring användning av olika metoder inom jordbruket jämföras med varandra. Eftersom fokuset i studien ligger på att undersöka effekten av metoder som lantbrukare är med och testar, med syftet att öka kunskapen om metodernas effekter på kolinlagringen, bör denna studies resultat ej vara avgörande för lantbrukarens möjlighet att bedriva sin verksamhet. Avsikten med denna studie är att bidra till att undersöka den verkliga effekten av dessa insatser, vilket lantbrukarna själva har ett stort intresse av att få ta del av. Förhoppningsvis kan slutsatserna från denna studie vara användbart inom Svensk kolinlagring, vars syfte är att bidra till ett skifte i det svenska jordbruket för att få en välmående och motståndskraftig jord. Detta kommer i sin tur trygga livsmedelsproduktionen, som både är bra för samhället och lantbrukaren. Förhoppningen är att kunna vara med och bidra till att skynda på denna omställning.

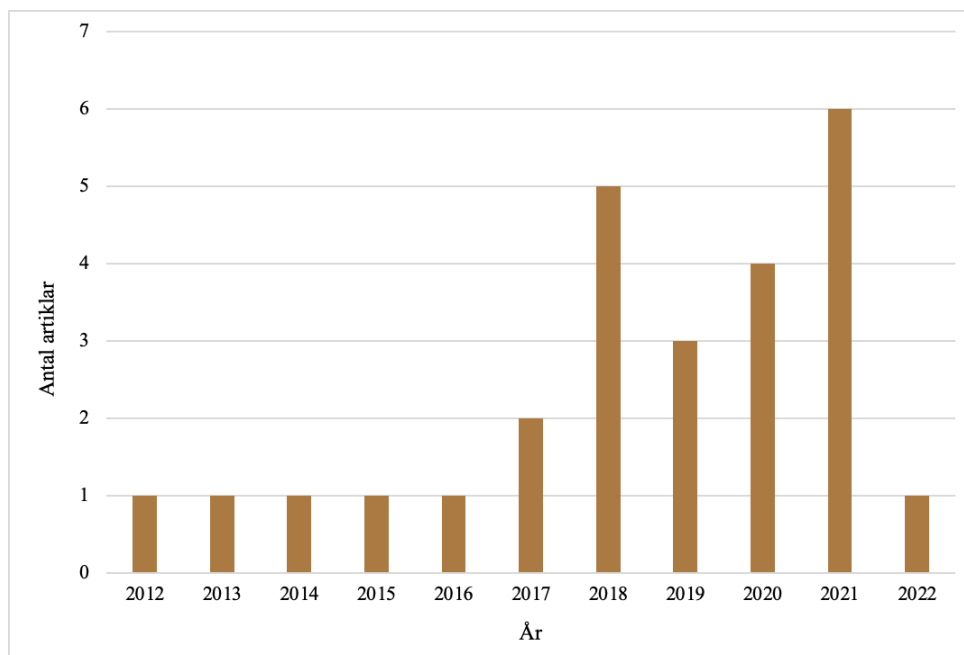
Enligt Vetenskapsrådet (2017) och det så kallade forskningskravet, är det viktigt att göra avvägningar mellan nyttan som forskningen bidrar med och de etiska aspekter som ska hanteras i studien. I alla studier finns etiska frågor närvarande, men dessa får inte förhindra att forskning som kan bidra till förbättringar för exempelvis miljön genomförs. Det handlar om att göra avvägningar, och i just denna studie väcktes inga tydliga etiska konflikter.

3. Resultat

3.1 Litteraturöversikt

3.1.1 Metadata

Litteratursökningen resulterade i en inkludering av 24 metaanalyser. I bilaga 3, tabell 1 presenteras en sammanställning av information om samtliga inkluderade artiklar gällande inkluderad data, geografiskt område, undersökta metoder, redovisad effekt på kolförrådet eller kolhalten i marken och effekt på kolinlagringshastigheten. En majoritet (73%) av de inkluderade artiklarna är publicerade sedan år 2018, resterande artiklar är publicerade mellan år 2012 och 2017 (figur 12).



Figur 12. Diagram som visar fördelningen av publiceringsår för de inkluderade artiklarna.

Olika studier hade olika geografiska avgränsningar, och beskrev dessa på olika sätt vilket gör det svårt att presentera grafiskt. En del artiklar inkluderade studier utifrån klimatzoner, som exempelvis tempererat klimat, eller utifrån geografiska områden, som exempelvis medelhavsområdet. En majoritet av artiklarna inkluderade studier från hela världen.

I tabell 3 presenteras hur många artiklar som undersöker respektive metod. Odling av mellangrödor, täckgrödor och fånggrödor utgör den största delen (elva artiklar). Samodling berördes i noll artiklar.

Tabell 3 Antal artiklar för olika metoder

Tabellen visar antalet artiklar som har undersökt olika metoders effekt på organiskt kol i marken. OBS: vissa artiklar undersöker mer än en metod, därav är summan av antal artiklar > 24.

Metod	Antal artiklar
Odling av mellangrödor, täckgrödor och fånggrödor	11
Samodling	0
Agroforestry	5
Gödning (både organisk gödning och mineralgödning)	6
Organiska tillsatser (såsom tillförsel/kvarlämnande av skörderester)	8

3.1.2 Effekten av enskilda metoder på organiskt kol i marken

Sammanställningen av resultat från metaanalyser över effekter på kolhalten i marken från enskilda metoder presenteras i bilaga 2, tabell 1 samt i en syntestabell (tabell 4). Resultatet visar att odling av mellangrödor ger en ökning av kolhalten med 8,5% (koncentration) och 11% (förråd) jämfört med ingen mellangröda, konventionellt jordbruk, monokultur eller växtrotation med endast spannmål eller spannmål och baljväxter. Vidare visar litteraturen att agroforestry kan ge en ökning av kolhalten i marken med 18,3% jämfört med annan växtodling eller betesmark. Organiska tillsatser, inklusive tillförsel/kvarlämnande av skörderester, kan ge en ökning av kolförrådet med 23,25% och koncentrationen med +24% jämfört med exempelvis ingen gödning eller inga organiska tillsatser. Annan organisk gödning kan öka kolhalten med 35% jämfört med ingen gödning. Resultatet visar även att spridning av rötslam på åkern (100 Mg/ha) kan öka kolhalten i marken med 3,3%. Kemisk gödning

enbart kan öka kolhalten med 12,7% och kemisk gödsling kombinerat med organisk gödsling med 27,9% jämfört med ingen gödsling.

Tabell 4: Syntestabell av bilaga 2, tabell 1.

Tabellen visar en sammanställning av resultat från metaanalyser över effekter på kolhalten i marken. I tabellen anges antalet metaanalyser som visar antingen en positiv, negativ eller icke signifikant effekt på kolhalten i marken. Bland de effekter som är signifikanta och utgörs av fler än en datapunkt varierar värdet och i tabellen presenteras därför ett medianvärde samt min-max. I första kolumnen "behandling/metod" har metoder eller jämförelser som är lika slagits ihop i grupper. I kolumnen effekt på SOC-koncentration eller förråd presenteras ett medianvärde av signifikanta effekter från koncentrationsdata (g SOC/kg jord) eller förråd (ton SOC/ha).

Metod	Kontroll	Antal metaanalyser (positiv, negativ eller ingen effekt)	Relativ effekt (%) på SOC-koncentration/förråd (median & extremvärden)	Referens
Odling av mellangrödor	Konventionellt jordbruk, monokultur, ingen mellangröda eller växtrotation med endast spannmål eller spannmål och baljväxter	+ = 9 - = 0 Icke signifikanta = 0	Koncentration: +8,5% (6,3–15%) Förråd: +11% (6–15,5%)	Bilaga 2, tabell 1, rad 19–26
Agroforestry	Annan växtodling och betesmark	+ = 7 - = 1 Icke signifikanta = 0	Förråd: +18,25% (-5,3–50%)	Bilaga 2, tabell 1, rad 27–32
Organiska tillsatser (inkl. skörderester och gröngödsling)	Barmark, ingen gödsling, inga organiska tillsatser, avlägsnande av skörderester, konventionellt jordbruk,	+ = 8 - = 0 Icke signifikanta = 0	Koncentration: +24% Förråd: +23,25% (5–50%)	Bilaga 2, tabell 1, rad 33, 42, 49–52

	mineralgödsling			
Organisk gödsling (nöt, gris, höns, får, häst)	Ingen gödsling	+ = 7 – = 0 Icke signifikanta = 0	Förråd: +35,4% (23–50%)	Bilaga 2 tabell 1, rad 34–41,43
Tillsättning av rötslam (100 Mg/ha)	Ingen tillsättning av rötslam	+ = 1 – = 0 Icke signifikanta = 0	Koncentration: +3,29%	Bilaga 2, tabell 1, rad 44
Mineralgödsel	Ingen gödsling	+ = 2 – = 0 Icke signifikanta = 0	Koncentration: +12,7% (10–15,4%)	Bilaga 2, tabell 1, rad 45–46
Mineral och organisk gödsling	Ingen gödsling	+ = 2 – = 0 Icke signifikanta = 0	Koncentration: +27,85 (19,5–36,2%)	Bilaga 2, tabell 1, rad 47–48

3.1.3 Effekten av multipla metoder på organiskt kol i marken

Sammanställningen av effekter på kolhalten i marken av multipla metoder presenteras i bilaga 2, tabell 2 samt i en syntestabell (tabell 5). Resultatet visar att jämfört med konventionellt jordbruk kan en kombination av reducerad eller ingen jordbearbetning, tillförsel av organiskt material och odling av mellangrödor ge en ökning av kolhalten i marken med cirka 50%. En kombination av mellangrödor och perenna grödor i växtföljden kan öka kolhalten med 1,4 mg/kg jämfört med inga mellangrödor. Resultatet visar även att mellangrödor i kombination med ingen jordbearbetning kan ge en ökning av kolhalten med 16% jämfört med inga mellangrödor och konventionell jordbearbetning. Att odla mellangrödor i kombination med reducerad jordbearbetning har ingen signifikant effekt jämfört med mellangrödor i kombination med ingen jordbearbetning. Samma sak gäller för odling av mellangrödor i kombination med konventionell jordbearbetning jämfört med mellangrödor i kombination med reducerad jordbearbetning. Resultatet visar att odling av mellangrödor i kombination med konventionell jordbearbetning ger en ökad kolhalt med 9% jämfört med enbart ingen/reducerad jordbearbetning. Odling av mellangrödor vid olika tillsättning av kvävegödsel ger i genomsnitt en ökad kolhalt med 3% jämfört med en odling utan mellangrödor.

Jämfört med enbart konventionell jordbearbetning kan det i kombination med kvarlämnande av skörderester öka kolhalten med 10%. En lite mindre effekt (9%) syns vid kvarlämnande av skörderester i kombination med reducerad/ingen plöjning eller

odling av mellangrödor jämfört med enbart konventionell plöjning eller konventionell plöjning och kvarlämnande av skörderester. Kvarlämnande av skörderester i kombination med ingen jordbearbetning kan öka kolhalten med 13% jämfört med enbart ingen jordbearbetning. Resultatet visar ingen skillnad mellan att lämna kvar skörderester i kombination med ingen jordbearbetning och att lämna kvar skörderester i kombination med reducerad jordbearbetning. Om skörderester i stället tas bort vid ingen/reducerad jordbearbetning eller odling av mellangrödor ger det ändå en ökning av kolhalten med 5% jämfört med konventionell jordbearbetning.

Avslutningsvis visar resultatet en ökad kolhalt med 7,25% av olika nivåer av kvävegödsling vid reducerad eller ingen jordbearbetning jämfört med konventionell plöjning. Vid organisk gödsling kan en extra tillsättning av mineralgödsel och konventionell plöjning ge en ökad kolhalt med 1,95 Mg/ha jämfört med enbart organisk gödsling eller i kombination med reducerad jordbearbetning. Att kombinera organisk gödsling med odling av mellangrödor visar på en stor positiv effekt på kolhalten med en ökning på 31% jämfört med konventionellt jordbruk med enbart kemisk gödsling.

Tabell 5 Syntestabell av bilaga 2, tabell 2.

Tabellen visar en sammanställning av resultat från metaanalyser över effekter på kolhalten i marken. I tabellen anges antalet metaanalyser som visar antingen en positiv, negativ eller icke signifikant effekt på kolhalten i marken. Bland de som är signifikanta och fler än en datapunkt varierar värdet och i tabellen presenteras därför ett medianvärde samt min-max. I första kolumnen "behandling/metod" har metoder eller jämförelser som är lika slagits ihop i grupper. I kolumnen effekt på C-koncentration eller förråd presenteras ett medianvärde av signifikanta effekter från koncentrationsdata (g SOC/kg jord) eller förråd (ton SOC/ha).

Kombinerade metoder	Kontroll	Antal metaanalysdatapunkter (positiv, negativ eller ingen effekt)	Relativ effekt (%) på SOC-koncentration/förråd (median och extremvärden)	Referens
Organiska tillsatser, odling av mellangrödor och reducerad eller ingen jordbearbetning	Konventionellt jordbruk	+ = 1 - = 0 Icke signifikanta = 0	Förråd: +50%	Bilaga 2, tabell 2, rad 1

Mellangrödor i perenna växtföljder	Ingen mellangröda	+ = 1 – = 0 Icke signifikanta = 0	Koncentration: +1,4 mg/kg (0,81 – 2,0 mg/kg)	Bilaga 2, tabell 2, rad 2
Mellangrödor i kombination med ingen jordbearbetning	Ingen mellangröda och konventionell jordbearbetning	+ = 1 – = 0 Icke signifikanta = 0	Förråd: +16%	Bilaga 2, tabell 2, rad 19
Mellangrödor i kombination med reducerad eller ingen jordbearbetning	Mellangrödor i kombination med konventionell eller reducerad jordbearbetning	+ = 0 – = 0 Icke signifikanta = 2	-	Bilaga 2, tabell 2, rad 21–22
Mellangrödor i kombination med konventionell plöjning	Ingen mellangröda och ingen/reducerad jordbearbetning	+ = 1 – = 0 Icke signifikanta = 0	Förråd: +9%	Bilaga 2, tabell 2, rad 20
Mellangrödor i kombination med låga (1-100 kg N/ha), medelhöga (101-200 kg N/ha) och höga (>200 kg N/ha) nivåer av kvävegödsling.	Ingen mellangröda	+ = 1 – = 0 Icke signifikanta = 0	Förråd: +3% (3–6%)	Bilaga 2, tabell 2, rad 3–5
Reducerad eller ingen jordbearbetning i kombination med låga, medelhöga och höga nivåer av kvävegödsling (1->200 kg N/ha)	Konventionell plöjning	+ = 1 – = 0 Icke signifikanta = 0	Förråd: +7,25% (6–13%)	Bilaga 2, tabell 2, rad 6–11

Reducerad eller ingen jordbearbetning i kombination med växtrotation	Upprepad monokultur i kombination med ingen jordbearbetning	+ = 0 - = 0 Icke signifikanta = 2	-	Bilaga 2, tabell 2, rad 15 och 17
Reducerad eller ingen jordbearbetning i kombination med kontinuerlig odling	Upprepad monokultur i kombination med ingen jordbearbetning	+ = 0 - = 0 Icke signifikanta = 2	-	Bilaga 2, tabell 2, rad 16 och 18
Kvarlämnande av skörderester i kombination med reducerad/ingen plöjning eller odling av mellangrödor	Konventionell plöjning eller konventionell plöjning i kombination med kvarlämnande av skörderester	+ = 5 - = 0 Icke signifikanta = 1	Förråd: +9% (5–13%)	Bilaga 2, tabell 2, rad 23–25, 33–34, 38
Skörderester tas bort i kombination med reducerad/ingen plöjning och odling av mellangrödor	Konventionell plöjning	+ = 1 - = 0 Icke signifikanta = 2	Förråd: +5%	Bilaga 2, tabell 2, rad 26, 27 och 30
Kvarlämnande av skörderester i kombination med ingen eller reducerad jordbearbetning	Ingen jordbearbetning eller kvarlämnande av skörderester i kombination med reducerad jordbearbetning	+ = 1 - = 0 Icke signifikanta = 1	Förråd: +13%	Bilaga 2, tabell 2, rad 35–36
Kvarlämnande av skörderester i kombination med	Konventionell plöjning	+ = 1 - = 0 Icke signifikanta = 0	Förråd: +10%	Bilaga 2, tabell 2, rad 37

konventionell jordbearbetning				
Organisk gödsling i kombination med extra mineralgödsel eller konventionell plöjning	Endast organisk gödsling eller organisk gödsling i kombination med reducerad jordbearbetning	+ = 2 - = 0 Icke signifikanta = 0	Förråd: +1,95 Mg/ha (1,7–2,2 Mg/ha)	Bilaga 2, tabell 2, rad 28–29
Organisk gödsling i kombination med odling av mellangrödor	Konventionellt jordbruk (kemisk gödsling)	+ = 2 - = 0 Icke signifikanta = 0	Förråd: +31% (26,2–35,8%)	Bilaga 2, tabell 2, rad 31–32

3.1.4 Effekten av enskilda och multipla metoder på kolinlagringshastigheten i marken

Resultatet visar även olika metoders effekt på kolinlagringshastigheten i marken (tabell 6). Att inkludera mellangrödor i växtföljden ger en kolinlagringshastighet på 0,27–1,54 t C/ha och år, och att kombinera detta med fler metoder ger en större effekt på kolinlagringen med 1,11 t C/ha och år (Aguilera et al., 2013; Poeplau och Don, 2015; Gonzalez-Sanchez, 2012). Resultatet visar även olika effekt på kolinlagringshastigheten av olika gödselmedel. Störst effekt har en kombination av kemiska gödselmedel med tillförsel av skörderester (0,37 g/kg och år) (Han et al., 2016). Enbart en tillförsel/kvarlämnande av skörderester kan ge en ökning av kolinlagringen med 0,38 t C/ha och år (Ranaivoson et al., 2017). Agroforestry kan öka kolinlagringen med 0,15–4,38 t C/ha och år (Mayer et al., 2022; Feliciano et al., 2018).

Tabell 6 Effekt på kolinlagringshastigheten i marken

Tabellen visar en sammanställning av olika metoders effekt på kolinlagring, uttryckt i kolinlagringshastighet (carbon sequestration rate) i ton C/ha och år eller g/kg och år.

Metod	Kolinlagringshastighet	Artikel
Odling av mellangrödor	0,27 t C/ha och år ¹ 0,32 (+0,08) t C/ha och år ² 1,54 t C/ha och år ³	¹ Aguilera et al. (2013) ² Poeplau & Don (2015) ³ Gonzalez-Sanchez et al. (2012)
Agroforestry	0,21 ± 0,79 t C/ha och år (0–20 cm), 0,15 ± 0,26 t C/ha och år (20–40 cm)	Mayer et al. (2022)
Agroforestry (skogsbete)	4,38 t C /ha och år	Feliciano et al. (2018)
Organiska tillsatser (OA)	1,31 t C/ha och år	Aguilera et al. (2013)
Gödsling (kompost)	1,32 t C/ha och år	Aguilera et al. (2013)
Gödsling (kompost eller animaliskt ursprung) + mellangrödor	0,62–0,97 t C/ha och år	Aguilera et al. (2013)
Kombinerade metoder (organiska tillsatser + mellangrödor + skörderester + reducerad/ ingen plöjning)	1,11 t C/ha och år	Aguilera et al. (2013)
Tillförsel/kvarlämnande av 4–5 ton/ha skörderester ovan jord	0,38 t C/ha och år	Ranaivoson et al. (2017)
Obalanserad applicering av mineralgödsel	0,07 g/kg och år	Han et al. (2016)
Mineralgödsel + organiskt gödsel	0,29 g/kg och år	Han et al. (2016)
Mineralgödsel + tillförsel av skörderester	0,37 g/kg och år	Han et al. (2016)
Balanserad spridning av mineralgödsel	0,13 g/kg och år	Han et al. (2016)

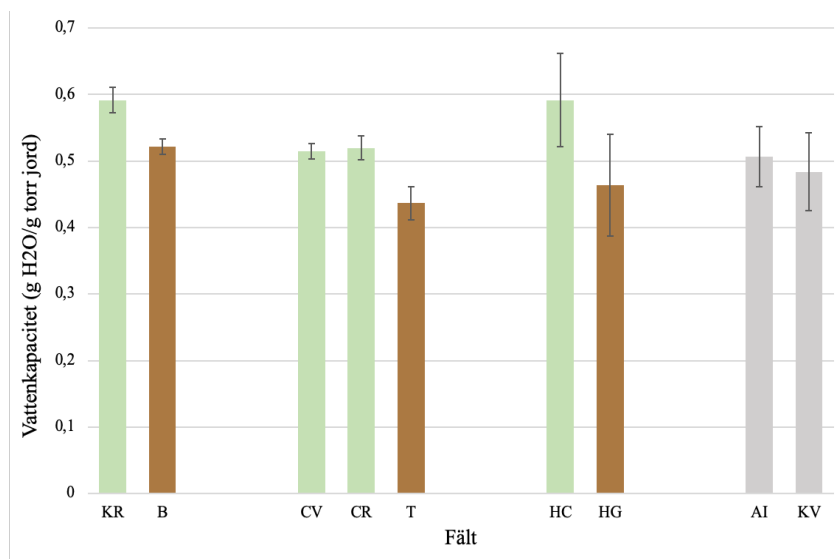
3.2 Fältstudie

3.2.1 Analysresultat

På grund av att designen av långtidsförsöket vid Alnarp, dvs försöken KV och AI, var för lika (se bilaga 1, tabell 1) har dessa fält inte inkluderats i försöksdesignen med de övriga analyserna, men resultaten från dessa försök presenteras ändå. KV och AI inkluderas dock i ANOVA-modellen vid andra jämförelser så som skillnaden mellan olika jordbearbetningsmetoder eller mellan att inkludera mellangrödor och/eller baljväxter eller inte.

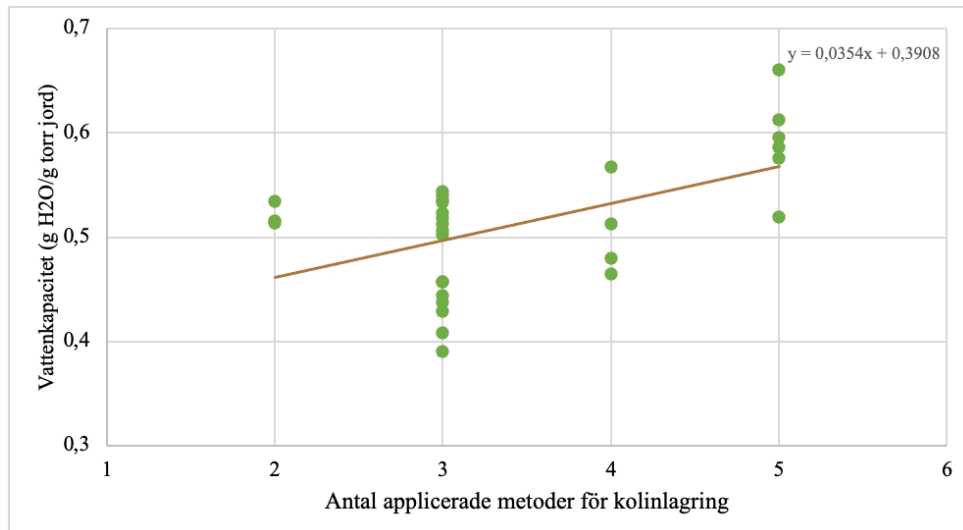
3.2.1.1 Vattenkapacitet

Resultatet visar en signifikant skillnad i vattenkapacitet (log-transformerade värden) mellan behandling och kontroll, med ett p-värde på 0,032 (bilaga 3, tabell 1). I figur 14 presenteras medelvärden och dess standardavvikelse, för vattenkapaciteten i jordprover från alla fält inklusive KV och AI. Högst vattenkapacitet har HC (0,5918 g H₂O/g torr jord) ($\sigma = 0,0705$) och KR (0,5917 g H₂O/g torr jord) ($\sigma = 0,0190$). Man kan även se att CV och CR har större vattenkapacitet än deras kontrollfält T. AI och KV har relativt liten skillnad i vattenkapacitet.



Figur 13: Figuren visar medelvärden för vattenkapaciteten för varje fält och dess standardavvikelse. Fälten är grupperade efter ort, och färgkodade enligt; grön = fält som brukas med kolinlagrande metoder, brun = kontrollfält och grå = långtidsförsök vid Alnarp.

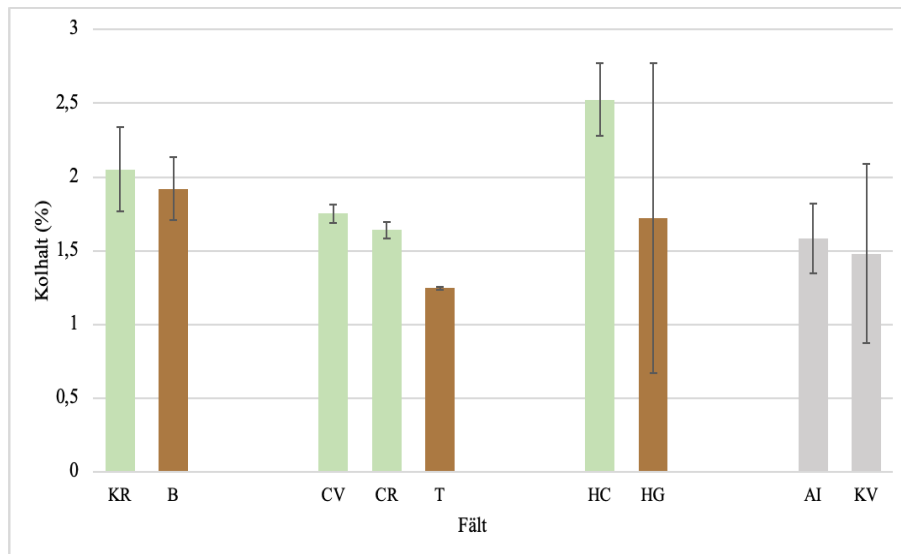
Resultatet visar en signifikant positiv korrelation (0,447) med ett p-värde på 0,015 mellan antal applicerade metoder för kolinlagring (bilaga 1, tabell 2) och jordens vattenkapacitet (figur 14) (bilaga 3, tabell 2).



Figur 14: Figuren visar korrelationen mellan antal applicerade åtgärder för kolinlagring och vattenkapaciteten (g H₂O/g jord). Trendlinjen visar en positiv korrelation. Spearmans korrelationstest (n=29).

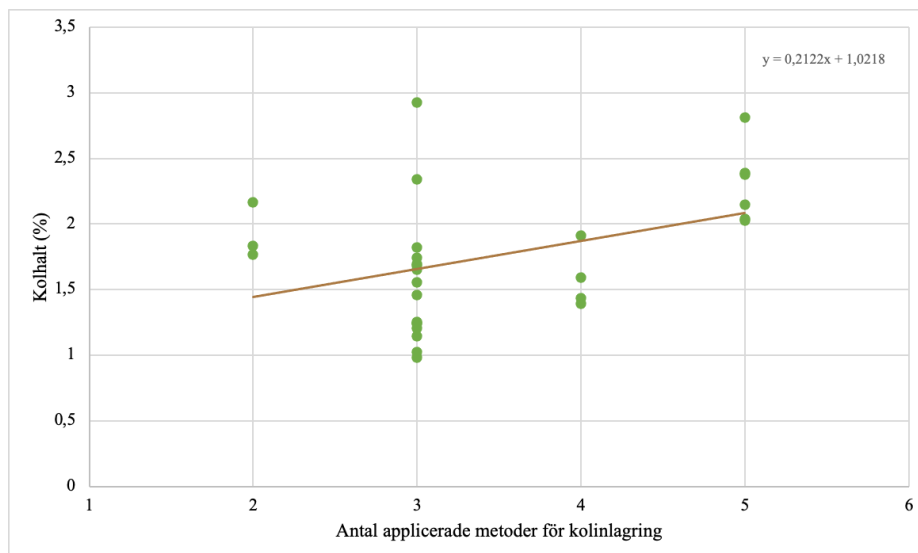
3.2.1.2 Kolhalt

Resultatet av Kruskal Wallis-testet visar ingen signifikant skillnad i kolhalt mellan behandling och kontroll med ett p-värde på 0,102 (bilaga 3, tabell 3). Högst genomsnittlig kolhalt uppmättes i HC med 2,5%, och näst högst i KR med 2,1% (figur 15).



Figur 15: Figuren visar medelvärdet och dess standardavvikelse för den organiska kolhalten (%) i jordprover från varje fält. Fälten är grupperade efter ort, och färgkodade enligt; grön = fält som brukas med kolinlagrande metoder, brun = kontrollfält och grå = långtidsförsök vid Alnarp.

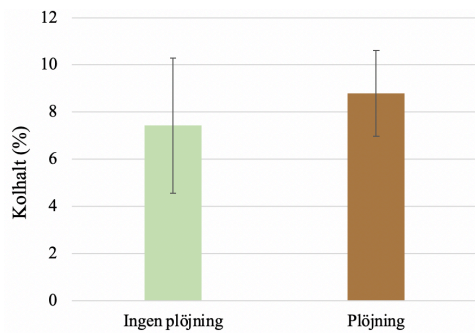
Resultatet visar även en positiv trend (0,341) men icke signifikant korrelation med ett p-värde på 0,07 mellan antal applicerade metoder för kolinlagring och kolhalt (figur 16) (bilaga 3, tabell 4).



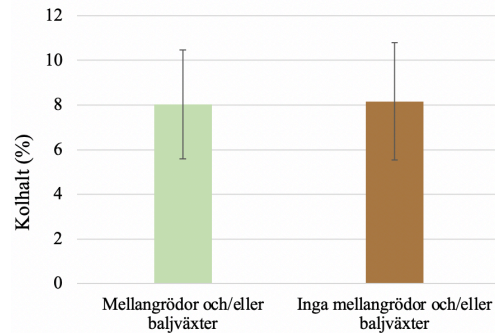
Figur 16: Figuren visar korrelationen mellan antal applicerade åtgärder för kolinlagring och kolhalt (%). Spearmans korrelationstest (n = 31).

För kolhalt har variansanalyser utförts för ingen plöjning jämfört med konventionell plöjning och för odling av mellangrödor och/eller baljväxter jämfört med inga mellangrödor och/eller baljväxter. I dessa analyser har fälten AI och KV inkluderats. När ingen plöjning jämförs med plöjning visar resultatet att den genomsnittliga kolhalten för ingen plöjning är 7,42% ($\sigma = 2,87$) jämfört med 8,79% ($\sigma = 1,82$) för konventionell plöjning (figur 17). Variansanalysen visade en signifikant skillnad i kolhalt mellan konventionell plöjning och ingen plöjning med ett p-värde på 0,033 (bilaga 3, tabell 5).

Variansanalysen av fält där mellangrödor och/eller baljväxter har inkluderats i växtföljden jämfört med fält utan mellangrödor och baljväxter visas ingen signifikant skillnad i kolhalt mellan grupperna, med ett p-värde på 0,97 (bilaga 3, tabell 6). Högst genomsnittlig kolhalt uppmättes i fält utan mellangrödor och/eller baljväxter med 8,17% ($\sigma = 2,62$) jämfört med 8,03% ($\sigma = 2,45$) (figur 18).



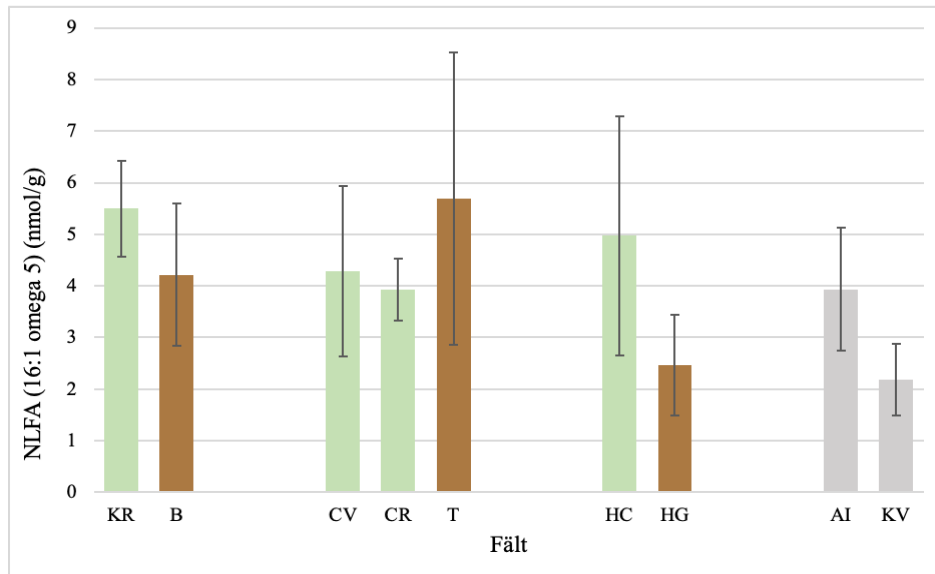
Figur 17: Figuren visar medelvärden och dess standardavvikelser för kolhalten vid ingen plöjning och konventionell plöjning.



Figur 18: Figuren visar medelvärden och dess standardavvikelser för kolhalten vid inkludering av mellangrödor och/eller baljväxter i växtföljden och utan mellangrödor och/eller baljväxter.

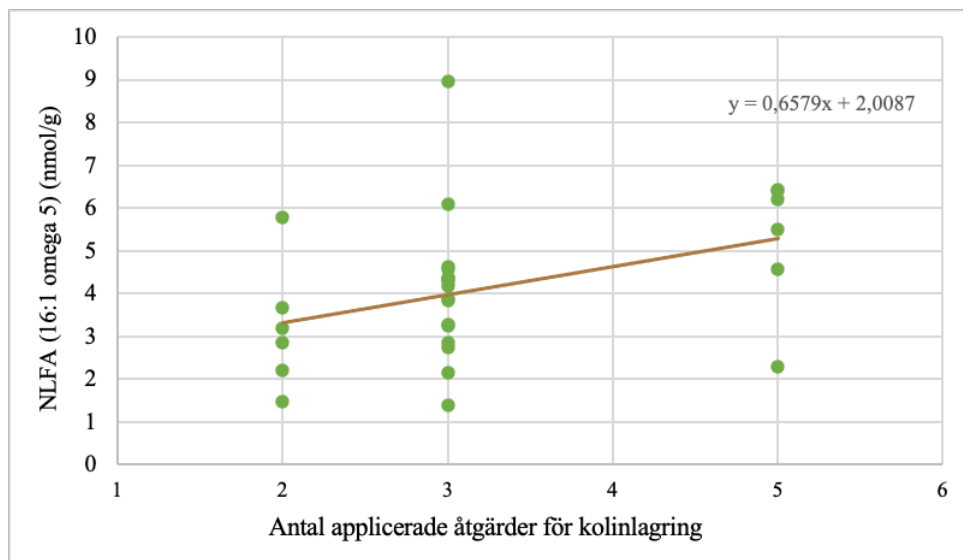
3.2.1.3 Mikrobiell biomassa

Analysen av NLFA (16:1w5) visar högst genomsnittliga halt i T med 5,696 nmol/g ($\sigma = 2,828$). Strax under T ligger KR och HC med halter av NLFA på 5,498 nmol/g ($\sigma = 0,934$) respektive 4,973 nmol/g ($\sigma = 2,313$) (figur 19). Variansanalysen visar ingen signifikant skillnad i NLFA-halt mellan behandling och kontroll, med ett p-värde på 0,62 (bilaga 3, tabell 7).



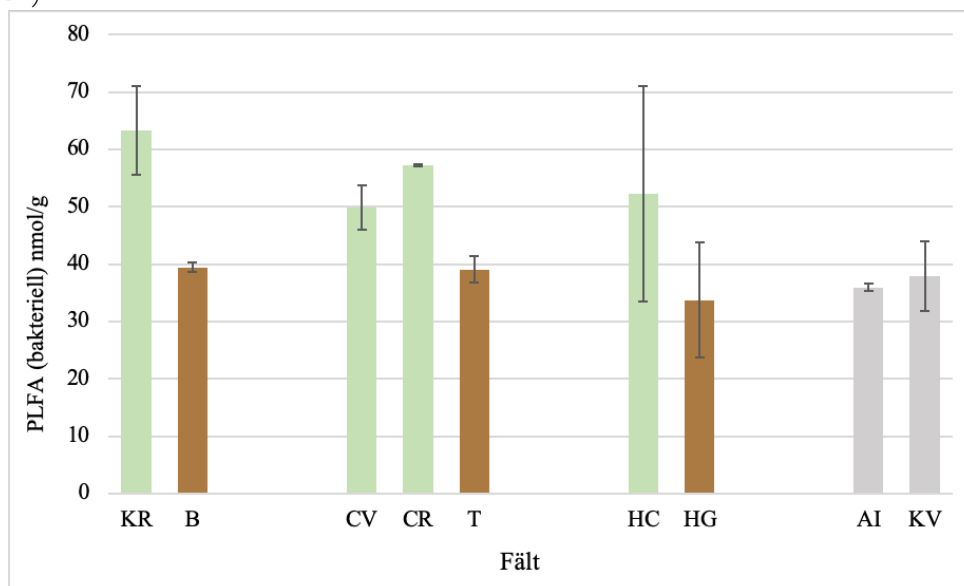
Figur 19: Figuren visar medelvärdet och dess standardavvikelse av NLFA (16:1ω5) (nmol/g) i jordproverna från varje gård, och dess standardavvikelse. Gårdarna är grupperade efter ort, och färgkodade enligt; grön = fält som brukas med kolinlagrande metoder, brun = kontrollfält och grå = långtidsförsök vid Alnarp.

Resultatet visar en signifikant positiv korrelation (0,452) med ett p-värde på 0,02 (bilaga 3, tabell 8) mellan antal applicerade åtgärder för kolinlagring och halten av NLFA biomassa (figur 20).



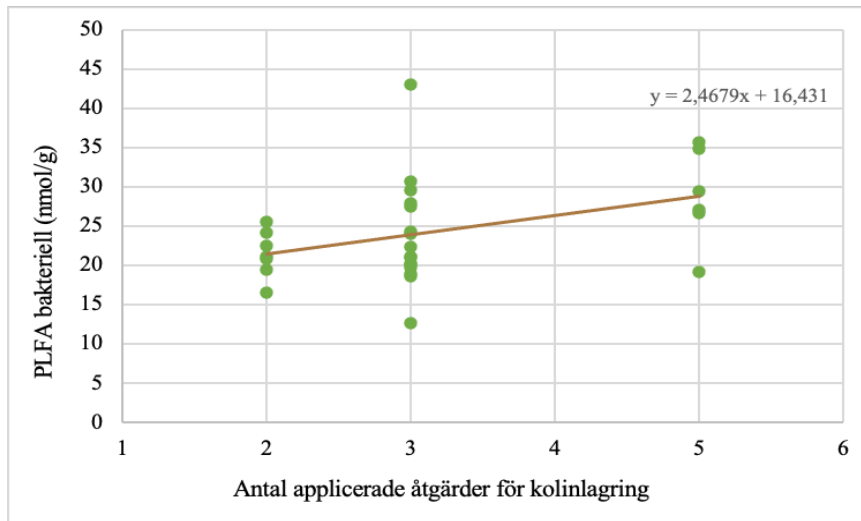
Figur 20: Figuren visar korrelationen mellan antal applicerade åtgärder för kolinlagring och NLFA (16:1w5) biomassa (nmol/g). Trendlinjen visar en positiv korrelation. Spearmans korrelationstest. $n = 29$.

Resultatet visar en signifikant skillnad i halten av bakteriella PLFA mellan behandling och kontroll, med ett p-värde på $<0,001$ (bilaga 3, tabell 9). Högst genomsnittlig halt av bakteriella PLFA har KR med 63,358 nmol/g ($\sigma = 7,712$). Näst högst halt har CR med 57,315 nmol/g ($\sigma = 0,177$) följt av HC med 52,325 nmol/g ($\sigma = 18,790$) (figur 21).



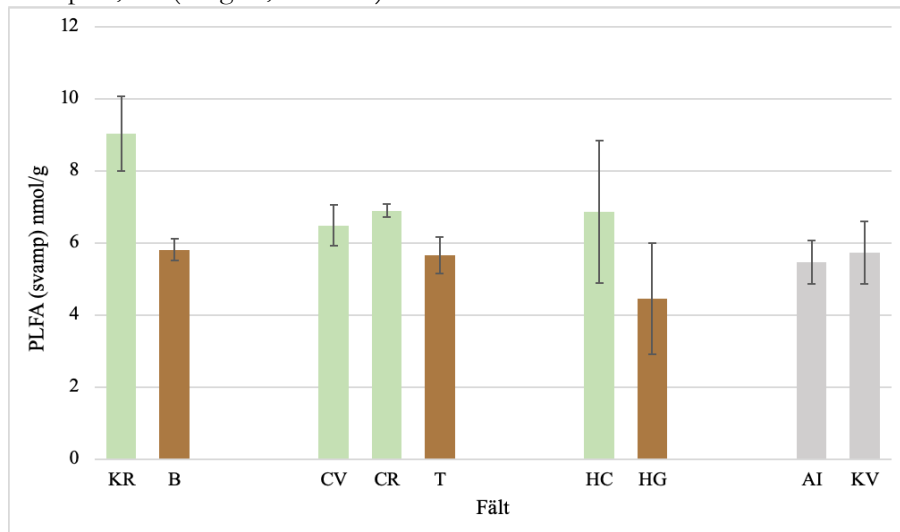
Figur 21: Figuren visar medelvärdet och dess standardavvikelse av halten bakteriell PLFA (nmol/g) i jordproverna från varje gård. Gårdarna är grupperade efter ort, och färgkodade enligt; grön = fält som brukas med kolinlagrande metoder, brun = kontrollfält och grå = långtidsförsök vid Alnarp.

Resultatet visar en positiv trend (0,355) med ett p-värde på 0,058 (bilaga 3, tabell 10) mellan antal applicerade metoder för kolinlagring och halten av PLFA bakteriell biomassa (nmol/g) (figur 22).



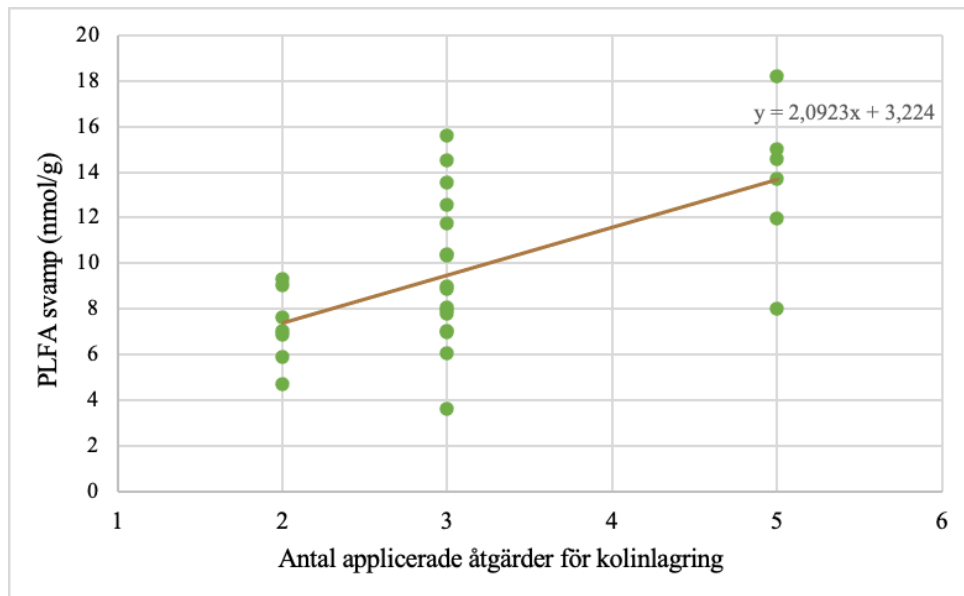
Figur 22: Figuren visar korrelationen mellan antal uppfyllda kriterier och PLFA bakteriell biomassa (nmol/g). Spearmans korrelationstest. n = 29.

Resultatet visar högst genomsnittliga halt av PLFA (nedbrytande svamp) i KR med 9,023 nmol/g (figur 23). Näst högst halt uppmättes i CR med 6,888 nmol/g. Variansanalysen visar en signifikant skillnad mellan behandling och kontroll med ett p-värde på 0,042 (bilaga 3, tabell 11).



Figur 23: Figuren visar medelvärdet och dess standardavvikelse av halten nedbrytande svamp PLFA (nmol/g) i jordproverna för varje fält. Gårdarna är grupperade efter ort, och färgkodade enligt; grön = fält som brukas med kolinlayrande metoder, brun = kontrollfält och grå = fält där skillnaderna i brukningsmetoderna är för små för kategorisering.

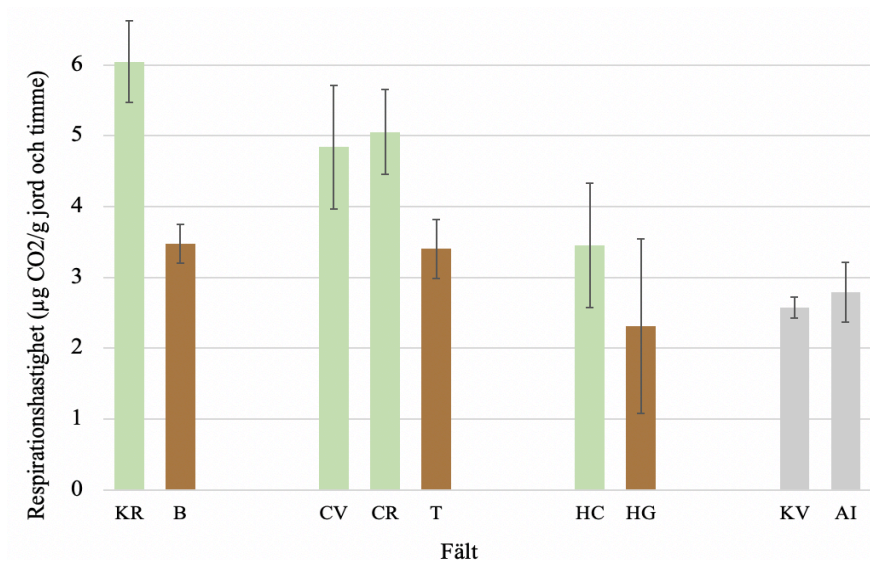
Resultatet visar en positiv trend (0,285) med ett p-värde på 0,13 (bilaga 3, tabell 12) mellan antal applicerade metoder för kolinlagring och halten av PLFA svamp (nmol/g) (figur 25).



Figur 24: Figuren visar korrelationen mellan antal applicerade åtgärder för kolinlagring och PLFA nedbrytande svampbiomassa (nmol/g). Spearmans korrelationstest. n = 29.

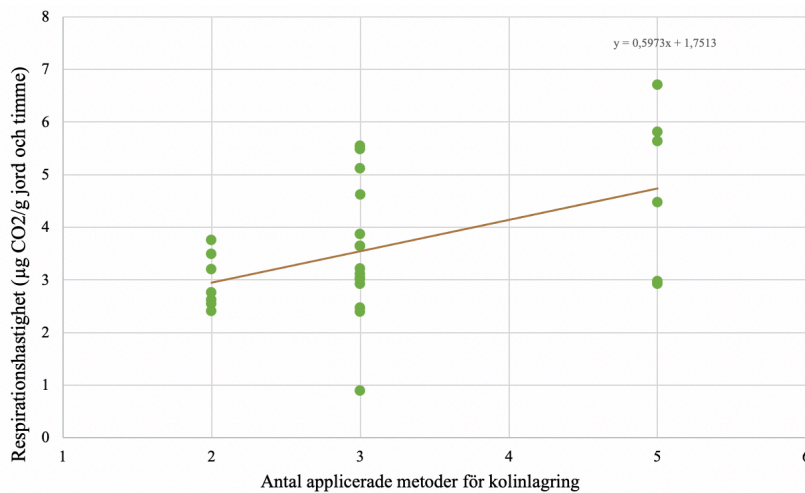
3.2.1.4 Respiration

Resultatet visar högst genomsnittlig respirationshastighet i KR med 6,05 $\mu\text{g CO}_2/\text{g}$ jord och timme (figur 26). Näst högst respirationshastighet uppmättes i CR med 5,05 $\mu\text{g CO}_2/\text{g}$ jord och timme. Variansanalysen visar en signifikant skillnad i respirationshastighet mellan behandling och kontroll, med ett p-värde på 0,05 (bilaga 3, tabell 13).



Figur 26: Figuren visar medelvärdet och dess standardavvikelse av respirationshastigheten i jordproverna för varje fält. Gårdarna är grupperade efter ort, och färgkodade enligt; grön = fält som brukas med kolinlagrande metoder, brun = kontrollfält och grå = fält där skillnaderna i brukningsmetoderna är för små för kategorisering.

Resultatet visar en signifikant korrelation (0,418) mellan respirationshastighet och antal applicerade åtgärder för kolinlagring, med ett p-värde på 0,027 (figur 27) (bilaga 3, tabell 14).



Figur 27: Figuren visar korrelationen mellan antal applicerade åtgärder för kolinlagring och respirationshastigheten (µg CO₂/g jord och timme). Spearmans korrelationstest. n=29.

4. Diskussion

4.1 Vilken effekt har enskilda metoder inom jordbruket på inlagring av organiskt kol i marken?

Från sammanställningen av resultatet från metaanalyser kan ett antal metoder lyftas som är särskilt viktiga för en ökad kolinlagring. Dessa är gödsling med organiskt gödsel (+33,5% jämfört med ingen gödsling), gödsling med mineral- och organiskt gödsel (+27,9% jämfört med ingen gödsling), organiska tillsatser (+24% koncentration, +23,25% förråd jämfört med exempelvis inga organiska tillsatser eller ingen gödsling) samt odling av mellangrödor (8,5% koncentration, 11% förråd). Även agroforestry kan ha en positiv effekt (+18,25%) men det varierar i olika klimat. Detta resultat kan jämföras med de effekter som Bolinder et al. (2020) har identifierat genom en sammanställning av resultat från metaanalyser. Studien visar att de metoder som ger störst ökning av kolhalten i marken är organisk gödsling som gav en ökning med 30%, följt av kvarlämnande av skörderester och odling av mellangrödor (9–10%). Lägst effekt har kvävegödsling med en ökning på 6%. Även kolinlagringshastigheten var högst vid organisk gödsling och odling av mellangrödor (409 respektive 331 kg C/ha och år).

Utöver effekterna som presenteras i resultatet är det även intressant att kolla på effekterna som beräknats av Haddaway et al. (2017) och Land et al. (2021). I dessa sammanställningar undersöks effekten av olika jordbearbetningsmetoder och växtföljder på kolhalten i marken. Studierna lyfter särskilt applicering av ingen jordbearbetning och inkludering av långvariga perenna växter och baljväxter i växtföljden som effektiva metoder för en ökad kolinlagring. Haddaway et al. (2017) visar att ingen jordbearbetning jämfört med högintensiv jordbearbetning leder till störst ökning av kolhalten med 2,09 g/kg. Land et al. (2021) studerade effekten av olika växtföljder och visar att växtföljder med långvariga flerårväxter jämfört med varierade växtföljder som saknar flerårväxter har störst effekt på kolhalten med 3,7 g/kg. Varierade växtföljder som innehåller baljväxter jämfört med varierade växtföljder utan baljväxter leder till näst störst ökning av kolhalten med 1,8 g/kg.

4.2 Vilken effekt har multipla metoder inom jordbruket på inlagring av organiskt kol i marken?

Sammanställningen av resultat från metaanalyser visar på varierade effekter på kolhalten i marken av multipla metoder (tabell 5). Störst effekt har en kombination av både reducerad/ingen jordbearbetning, tillförsel av organiskt material och odling av mellangrödor, som kan ge en ökning med 50% jämfört med konventionellt jordbruk. Resultatet visar även stora positiva effekter på kolhalten av att kombinera organisk gödsling med odling av mellangrödor, en ökning med 31% jämfört med konventionellt jordbruk. Odling av mellangrödor i kombination med ingen jordbearbetning ökar kolhalten med 16% jämfört med inga mellangrödor och konventionell jordbearbetning.

Resultatet visar att en kombination av enskilda odlingsmetoder som ökar kolhalten i marken är en bra strategi för att få en större effekt. Generellt sett ger en applicering av multipla metoder en större ökning av kolhalten än enskilda metoder. Detta gäller exempelvis för kvarlämnande av skörderester i kombination med ingen jordbearbetning som kan öka kolhalten med 13% jämfört med enbart ingen jordbearbetning, eller att enbart inkludera mellangrödor i växtföljden vilket ökar kolförrådet med 11% (tabell 4), jämfört med en kombination av mellangrödor och organisk gödsling ökar kolförrådet med 31% och mellangrödor med ingen jordbearbetning med 16% (tabell 5).

Utöver de effekter av multipla metoder som presenteras i resultatet är det också intressant att lyfta effekter som Land et al. (2021) hittar av kombinationen av olika växtföljder med jordbearbetning i olika intensitet. Här ser man en ökning av kolhalten med 1,2 mg/kg vid inkludering av baljväxter i växtföljden i kombination med ingen jordbearbetning jämfört med en upprepad monokultur med ingen jordbearbetning. I studien visas ingen signifikant effekt av en växtföljd med baljväxter i kombination med reducerad jordbearbetning jämfört med en upprepad monokultur med ingen jordbearbetning. Det går heller inte att se någon skillnad mellan en upprepad monokultur i kombination med ingen jordbearbetning jämfört med varierade växtföljder som inkluderar baljväxter i kombination med konventionell jordbearbetning, eller jämfört med reducerad/ingen jordbearbetning i kombination med växtrotation eller kontinuerlig odling.

4.3 Vilken effekt har en applicering av enskilda och multipla metoder på kolinlagringshastigheten i marken?

I resultatet av denna studie presenteras även effekten på kolinlagringshastigheten i marken av olika metoder. Detta resultat kan jämföras med de effekter som Lessmann et al. (2022) presenterar i en sammanställning av resultat från metaanalyser och kvantitativa översikter. Lessmann et al. (2022) visar störst effekt på kolinlagringshastigheten i marken av en kombination av inkorporering av skörderester och applicering av mineralgödsel som ökar kolhalten i marken med 0,86 t C/ha och år, följt av kombinerad gödsling med organiskt och mineralgödsel med 0,70 t C/ha och år. I denna litteraturöversikt hittades snarare de största effekterna vid en kombination av reducerad eller ingen jordbearbetning, organiska tillsatser och odling av mellangrödor med en förändring av kolhalten på 1,11 t C/ha och år, följt av agroforestry med 0,15–4,38 t C/ha och år. Denna skillnad i resultat mellan studierna beror troligtvis på en skillnad i vilka metoder och kombinationer av metoder som har inkluderats och analyserats. Likt effekterna som presenteras av Lessmann et al (2022) visar även denna studie en relativt stor effekt av att kombinera kemiska gödselmedel med en inkorporering av skörderester (+0,37 g/kg och år). Lessmann et al. (2022) visar att en inkludering av mellangrödor ökar kolhalten med 0,15 t C/ha och år, vilket är en aning lägre än effekten som presenteras i denna studie (0,27–1,54 t C/ha och år). Samma sak gäller för inkorporering av skörderester, där Lessmann et al. (2022) visar en ökning av kolhalten med 0,21 t C/ha och år och denna studie 0,38 t C/ha och år.

4.3 Vilken effekt har en applicering av multipla metoder på inlagring av organiskt kol i skånsk åkermark?

Resultatet visar generellt sett ett tydligt mönster för samtliga analyserade faktorer av en applicering av multipla metoder på åkermark i Skåne. Jordens vattenkapacitet var den första indikatorn för kolinlagring som analyserades. Vattenkapaciteten påverkas av den organiska halten i marken genom att organiskt material stabiliserar jordens aggregat som gör att vattnet kan hållas kvar. Därmed ger en hög organisk halt i marken en hög vattenkapacitet (Tisdall & Oades, 2012). Resultatet i denna studie visar högst vattenkapacitet i KR och HC som båda är fält där man har applicerat fem metoder för kolinlagring, vilket är flest bland de fält som ingår i denna studie. Detta indikerar att ju fler metoder som appliceras desto större kolinlagring är möjlig. Det visar även att metoderna som har applicerats på dessa fält, vilket bland annat är odling av

mellangrödor och baljväxter, plöjningsfri jordbearbetning, organisk gödsling och kvarlämnande av skörderester, är effektiva för ökad kolinlagring.

Mätningen av kolhalten i jordproverna ger en bild av den aktuella halten av organiskt kol i marken. Analysen visar ingen signifikant skillnad i kolhalt mellan fält med kolinlagrande metoder och kontrollfält. Generellt sett kan man dock se att den genomsnittliga kolhalten för fält med kolinlagrande metoder är större än kontrollfält och att det inte finns någon skillnad mellan AI och KV. Högst genomsnittlig kolhalt uppmättes i HC och KR. När fält istället grupperas i olika jordbearbetningsmetoder visar resultatet en signifikant större kolhalt för konventionell plöjning jämfört med ingen plöjning (8,79% jämfört med 7,42%). Vid gruppering av fält enligt växtföljd påvisades ingen signifikant skillnad i kolhalt mellan fält med mellangrödor och/eller baljväxter i växtföljden jämfört med inga mellangrödor eller baljväxter.

Ytterligare två faktorer som studerades i denna studie är mikrobiell biomassa och respiration, som båda beskriver den biologiska aktiviteten i marken. En hög mikrobiell aktivitet är bra för jordstrukturen då slemmet som mikroorganismerna producerar håller ihop jordaggregaten och minskar erosionsrisken (Heinonsalo, 2020). Mätningen av den mikrobiella biomassan i jorden gjordes i denna studie genom analys av fosfolipider och neutrala lipider (PLFA och NLFA). Lipider finns i cellmembranet hos mikroorganismer och när de dör bryts cellerna ner och lipider frigörs (Whalen & Sampedro, 2010). Mätning av jordprovernas innehåll av lipider visar därför innehållet av mikroorganismer. Resultatet visade en signifikant större halt av bakteriella och svamp PLFA i fälten som brukas med kolinlagrande metoder jämfört med kontrollfält. Ingen signifikant skillnad hittades för NLFA. Högst genomsnittlig halt av PLFA (bakteriell och svamp) uppmättes i KR, följt av CR som är ett fält där man har applicerat tre metoder för kolinlagring; plöjningsfri jordbearbetning (har haft i cirka 20 år), gödsling med organiskt gödsel samt kvarlämnande av skörderester. Detta indikerar att en långsiktig plöjningsfri jordbearbetning kan ha stor effekt på kolinlagringen. Högst genomsnittlig halt av NLFA uppmättes i T, vilket var ett oväntat resultat. T är ett kontrollfält där det inte odlas mellangrödor eller perenna växter i växtföljden och där jorden plöjs. Man har däremot haft en baljväxt (vitklöver) i växtföljden och man gödslar med organiskt gödsel samt lämnar kvar skörderester, vilket kan förklara varför fältet visades ha hög halt av NLFA. Dock ska det poängteras att medelvärdet har stor spridning ($\sigma = 2,828$) då ett av tre prover uppmättes ha cirka dubbelt så hög halt som de andra två. Denna höga halt är inte orimlig vilket gör att det inte betraktas som ett avvikande värde.

Respiration är ett mått på den mängd koldioxid som avges från mikroorganismerna i marken. Effektiviteten i mikrobernas kolanvändning bestäms av andelen kol som tagits upp av mikroberna och används i uppbyggnaden av biomassa. Resten av kolet andas de ut som koldioxid. Ett effektivare användande av kolet hos mikroberna innebär att mer kol binds i den mikrobiella biomassan och därmed lägre koldioxidutsläpp från marken. När mikroberna dör kan kolet bindas till mineralerna i marken och bli stabilt kol (Heinonsalo, 2020). En hög respiration visar på en hög

mikrobiell aktivitet. Respirationsmätning ger en uppskattning av den totala aktiviteten hos alla organismer i jorden, inklusive bakterier, svamp, djur och rötter (Växtekologiska institutionen, 1977). Resultatet av respirationsmätningen i denna studie visar en signifikant högre respirationshastighet i fälten som brukas med kolinlagrande metoder jämfört med kontrollfält. Högst genomsnittlig respirationshastighet har KR följt av CR.

Sammanfattningsvis går det att konstatera att resultatet av denna studie visar ett tydligt mönster i att fält som brukas med kolinlagrande metoder (C-fält) har högre genomsnittlig vattenkapacitet, kolhalt, mikrobiell biomassa (NLFA och PLFA) och respirationshastighet än kontrollfält. Detta indikerar en högre kolinlagring i fält som brukas med kolinlagrande metoder såsom plöjningsfri jordbearbetning och odling av mellangrödor. Signifikanta skillnader hittades mellan C-fält och kontrollfält för vattenkapacitet, PLFA bakteriell och svamp samt respirationshastighet. Resultatet visar även på en signifikant positiv korrelation mellan antal applicerade åtgärder och mikrobiell biomassa (NLFA), respirationshastighet och vattenkapacitet.

4.4 Jämförelse av effekter i litteraturen med effekter från fältstudien

Liknande effekter som presenteras i den vetenskapliga litteraturen kunde observeras i denna fältstudie. Likt vad McClelland et al. (2021) och Aguilera et al. (2013) visar så visar även denna fältstudie på en stor positiv effekt av en kombinerad applicering av mellangrödor och plöjningsfri jordbearbetning, men även vid tillsättning av organiskt material/gödsling på kolinlagringen i marken. Land et al. (2021) visar i sin studie att en inkludering av baljväxter i växtföljden har stor positiv effekt på kolinlagringen. Detta visas även i denna studie då en hög halt av organiskt kol och lipider samt en hög vattenkapacitet och respirationshastighet observerades i KR där man har odlat flera olika baljväxter i växtföljden (bland annat blålupin, alexandrinerklöver och foderärt).

Resultatet visar även en signifikant skillnad i kolhalt mellan ingen jordbearbetning och konventionell jordbearbetning, men inte mellan att odla eller inte odla olika mellangrödor och/eller baljväxter i växtföljden. Detta resultat kan jämföras med de effekter som Haddaway et al. (2017) visar, vilket är att ingen jordbearbetning ökar halten av organiskt kol i det övre jordlagret (0–15 cm) med 2.09 g/kg (4,61 Mg/ha) jämfört med högintensiv jordbearbetning. Varför det inte går att se en effekt mellan att odla mellangrödor och baljväxter jämfört med att inte göra det skulle kunna bero på att denna gruppering av fält inkluderar ett kontrollfält T som endast brukas med två kolinlagrande metoder (baljväxt i växtföljden och kvarlämnande av skörderester) samtidigt som det exkluderar två fält CV och CR som brukas med tre kolinlagrande metoder (ingen plöjning, organisk gödsling och kvarlämnande av skörderester). Med

andra ord är denna gruppering av fält inte helt optimal eftersom andra faktorer, såsom att CV och CR har brukats med plöjningsfri jordbearbetning i över 20 år, har stor påverkan på resultatet.

Avslutningsvis går det att konstatera att resultatet av denna studie indikerar att en kombination av flera metoder som kan öka kolhalten i marken är en effektiv strategi för att uppnå en ökad kolinlagring i marken. Samtliga analyserade faktorer visade en positiv korrelation med antal applicerade metoder, med en signifikant korrelation med NLFA, respirationshastighet och vattenkapacitet. Detta indikerar, likt vad resultatet sammanställt från metaanalyser visar, att en kombination av flera metoder ger en större potential för ökad kolinlagring.

4.5 Utveckling av arbetet och vidare studier

En utveckling av litteraturstudien i denna uppsats kan vara att utöver akademiska publikationer även inkludera grå litteratur som gör underlaget bredare och kanske även mer representativt (Bernes, 2019). Detta är för att studier som visar på en statistiskt signifikant effekt kan vara överrepresenterade i den akademiska litteraturen för att studier som inte visar på någon effekt inte alltid publiceras då dessa ofta betraktas som mindre intressanta. Denna obalans i underlaget kan även finnas i den grå litteraturen men risken för detta bedöms vara mindre (Bernes, 2019).

Vid bedömning av kollagret i marken är det viktigt att beakta tidsspannet för observationen. Däremot kan årliga åtgärder ha stor påverkan på kolflödet till marken, vilket gör att även korta observationer är användbara (Heinonsalo, 2020). Ursprungsidén för denna studie var att provtagningen skulle utföras i tre omgångar med två veckors mellanrum för att få ett större tidsspänn, men på grund av tidsbrist och för att det var för kallt i marken blev det endast en omgång. För de parvisa jämförelserna som gjordes i denna studie är det dock inte förändringen i kolhalten över tid som är intressant utan skillnaden mellan olika fält som brukas på olika sätt. Fler replikat hade dock gett mer styrka till ANOVA-modellen och ökat noggrannheten i bedömningen. Från början var även planen att samla in gasprover för att analysera utsläpp av koldioxid, metan och lustgas från marken. Detta hanns inte med i denna studie så i vidare studier kan växthusgasutsläpp från marken undersökas för att diskutera hur väl kolet som tillförs till marken lagras in.

Ytterligare en viktig aspekt vid bedömning av kollagret är jorddjupet. I denna studie togs jordprover från det översta lagret (cirka 0–5 cm). Bai et al. (2019) visar att effekten av olika metoder såsom reducerad eller ingen jordbearbetning varierar med jorddjupet. Jian et al. (2020) visar att odling av mellangrödor var associerat med en signifikant ökning av kolhalten i de översta 30 cm men inte djupare än så. Därför vore

det intressant att i vidare studier få med prover från olika djup för att se hur effekten från olika metoder kan skilja sig i jordlagret.

Hur länge olika metoder har applicerats på fälten är en faktor som spelar stor roll för kolinlagringen i marken (Popleau & Don, 2015) men som inte beaktas särskilt mycket i denna studie. Haddaway et al. (2017) visar att det kan ta tio år innan man ser en signifikant effekt av olika jordbearbetningsmetoder på kolhalten i marken. Tidsaspekten är därför en väldigt intressant aspekt att få med i vidare studier.

5. Slutsats

Syftet med denna studie var att genom en litteraturöversikt och fältstudie undersöka effekten av enskilda och multipla jordbruksmetoder på inlagring av organiskt kol i åkermark. Metoder som studerades var organiska tillsatser, gödsling, odling av mellangrödor, fånggrödor och täckgrödor samt agroforestry. För att besvara studiens frågeställningar kan följande slutsatser dras.

Sammanställningen av resultat från metaanalyser visar att gödsling med organiskt gödsel kan öka kolhalten i marken med 33,5% och gödsling med både kemiskt och organiskt gödsel med 27,9%, jämfört med ingen gödsling. Organiska tillsatser i form av exempelvis kvarlämnande av skörderester kan ge en ökning av kolförrådet med 23% jämfört med bland annat inga organiska tillsatser. Odling av mellangrödor kan ge en ökning av kolförrådet med 11% jämfört med bland annat att inte inkludera mellangrödor i odlingen. Agroforestry kan öka kolhalten med 18,3% men det varierar i olika klimat. Resultatet visar generellt sett en större effekt av multipla metoder än enskilda metoder. Detta syns bland annat vid en kombination av både reducerad eller ingen jordbearbetning, tillförsel av organiskt material och odling av mellangrödor som kan ge en ökning av kolhalten med så mycket som 50%.

Resultatet av fältstudien visar en positiv effekt på kolhalten i åkermark av en applicering av plöjningsfri jordbearbetning, odling av mellangrödor och baljväxter, organisk gödsling och kvarlämnande av skörderester. Signifikanta skillnader mellan fält som brukas med dessa metoder jämfört med kontrollfält hittades för följande faktorer; jordens vattenkapacitet, respirationshastighet och halten av PLFA bakteriell biomassa och nedbrytande svampbiomassa. Generellt sett hittades störst effekter bland fälten där flest metoder för kolinlagring appliceras.

Det sammanlagda resultatet av denna studie visar på vikten av att applicera flera åtgärder som ökar kolhalten i marken för att få en stor effekt på kolinlagringen som kan bidra till att motverka klimatförändringen och förbättra markhälsan i svensk åkermark.

Studien kan utvecklas genom att bland annat inkludera ett bredare underlag i litteraturstudien och att i fältstudien ta med ett större tidsspann för observationen och fler replikat som ökar noggrannheten i bedömningen. I vidare studier vore det intressant att göra mätningar för växthusgasutsläpp från marken och samla in prover från olika jorddjup.

Tack

Jag vill börja med att rikta ett stort tack till min handledare Katarina Hedlund som har väglett och stöttat mig under hela arbetsprocessen. Tack för din tydlighet och hjälpsamhet under våra möten och inne på labbet, samt för ditt trevliga sällskap ute i fält. Jag vill även rikta ett stort tack till Karl Ljung som var till stor hjälp i labbet.

Tack till gänget på Svenskt Kolinlagring, och särskilt Lova Brodin som hjälpte mig att hitta fram till detta uppsatsämne och visade ett engagemang under projektets gång. Jag vill även rikta ett tack till lantbrukarna i projektet som hjälpte mig på ett eller annat sätt.

Tack till Jens Blomquist som var till stor hjälp vid insamling av information och delade med sig av sina jordprover och tack till Henrik Ebbesson som hjälpte oss ute i fält. Tack även till SITES Lönnstorp för att vi fick använda försöken i detta projekt, och Johannes Albertsson som hjälpte oss på plats.

Slutligen vill jag allra mest tacka min kära mamma som gick bort i februari. Tack för allt stöd och all kärlek jag har fått genom livet.

Referenser

- 4 per 1000. (u.å). Home. <https://4p1000.org/?lang=en> (Hämtad: 2022-05-26)
- Aguilera, E., Lassaletta, L., Gattinger, A., & Gimeno, B. S. (2013). Managing soil carbon for climate change mitigation and adaptation in Mediterranean cropping systems: A meta-analysis. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 168, 25-36.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.02.003>
- Bai, X. X., Huang, Y. W., Ren, W., Coyne, M., Jacinthe, P. A., Tao, B., Hui, D. F., Yang, J., & Matocha, C. (2019). Responses of soil carbon sequestration to climate-smart agriculture practices: A meta-analysis. *Global Change Biology*, 25(8), 2591-2606.
<https://doi.org/10.1111/gcb.14658>
- Barreiro, A. och Albertsson, J. (2022). *SITES Agroecological Field Experiment (SAFE)*. Sveriges lantbruksuniversitet (SLU): Institutionen för biosystem och teknologi.
- Batjes, N.H. (1996). Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European journal of soil science*. 47(2). 151-163. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1996.tb01386.x>
- Bernes, C. (2019). *Systematisk utvärdering av miljöfrågor- En handbok*. Mistra (Stiftelsen för miljöstrategisk forskning), Stockholm. http://eviem.se/wp-content/uploads/2019/03/Handbok_web.pdf
- Bligh, E. G., & Dyer, W. J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 37(8), 911-917. <Go to ISI>://WOS:A1959WM52500001
- Bolinder, M. A., Crotty, F., Elsen, A., Frac, M., Kismanyoky, T., Lipiec, J., Tits, M., Toth, Z., & Kätterer, T. (2020). The effect of crop residues, cover crops, manures and nitrogen fertilization on soil organic carbon changes in agroecosystems: a synthesis of reviews. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 25(6), 929-952.
<https://doi.org/10.1007/s11027-020-09916-3>
- Bolinder, M., Kätterer, T., Andrén, O., Ericson, L., Parent, L.-E., and Kirchmann, H., (2010). Long-term soil organic carbon and nitrogen dynamics in forage-based crop rotations in Northern Sweden (63–64 N): *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 138(3), 335-342.
- Chatterjee, N., Nair, P. K. R., Chakraborty, S., & Nair, V. D. (2018). Changes in soil carbon stocks across the Forest-Agroforest-Agriculture/Pasture continuum in various

- agroecological regions: A meta-analysis. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 266, 55-67. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.07.014>
- Crystal-Ornelas, R., Thapa, R., & Tully, K. L. (2021). Soil organic carbon is affected by organic amendments, conservation tillage, and cover cropping in organic farming systems: A meta-analysis. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 312, Article 107356. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107356>
- De Baets, S., Poesen, J., Meersmans, J., Serlet, L. (2011). Cover crops and their erosion-reducing effects during concentrated flow erosion. *CATENA*. 85(3). 237-244. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.01.009>
- de Coninck, H., A. Revi, M. Babiker, P. Bertoldi, M. Buckeridge, A. Cartwright, W. Dong, J. Ford, S. Fuss, J.-C. Hourcade, D. Ley, R. Mechler, P. Newman, A. Revokatova, S. Schultz, L. Steg, och T. Sugiyama. (2018). *Strengthening and Implementing the Global Response. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [MassonDelmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X.
- Droste, N., May, W., Clough, Y., Börjesson, G., Brady M., Hedlund, K. (2020). "Soil carbon insures arable crop production against increasing adverse weather due to climate change." *Environmental Research Letters*, 15(124034). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abc5e3>
- Feliciano, D., Ledo, A., Hillier, J., & Nayak, D. R. (2018). Which agroforestry options give the greatest soil and above ground carbon benefits in different world regions? *Agriculture Ecosystems & Environment*, 254, 117-129. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.032>
- Frostegård, A., Baath, E., Tunlid, A. (1993). Shifts in the structure of soil microbial communities in limed forests as revealed by phospholipid fatty acid analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 25, 723-730 [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(93\)90113-P](https://doi.org/10.1016/0038-0717(93)90113-P)
- Frostegård, A., Tunlid, A., & Baath, E. (1991). Microbial biomass measures as total lipid phosphate in soils of different organic content. *Journal of Microbiological Methods*, 14(3), 151-163. [https://doi.org/10.1016/0167-7012\(91\)90018-1](https://doi.org/10.1016/0167-7012(91)90018-1)
- Gonzalez-Sanchez, E. J., Ordóñez-Fernández, R., Carbonell-Bojollo, R., Veróz-González, O., & Gil-Ribes, J. A. (2012). Meta-analysis on atmospheric carbon capture in Spain through the use of conservation agriculture. *Soil & Tillage Research*, 122, 52-60. <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.03.001>

- Gross, A., & Glaser, B. (2021). Meta-analysis on how manure application changes soil organic carbon storage. *Scientific Reports*, 11(1), Article 5516.
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-82739-7>
- Haddaway, N. R., Hedlund, K., Jackson, L. E., Kätterer, T., Lugato, E., Thomsen, I. K., Jørgensen, H. B., & Isberg, P.-E. (2017). How does tillage intensity affect soil organic carbon? A systematic review. *Environmental Evidence*, 6(1), 30.
<https://doi.org/10.1186/s13750-017-0108-9>
- Haddaway, N. R., Hedlund, K., Jackson, L. E., Kätterer, T., Lugato, E., Thomsen, I. K., Jørgensen, H. B., & Söderström, B. (2015). What are the effects of agricultural management on soil organic carbon in boreo-temperate systems? *Environmental Evidence*, 4(1), 23. <https://doi.org/10.1186/s13750-015-0049-0>
- Han, P. F., Zhang, W., Wang, G. C., Sun, W. J., & Huang, Y. (2016). Changes in soil organic carbon in croplands subjected to fertilizer management: a global meta-analysis (vol 6, 27199, 2016). *Scientific Reports*, 6, Article 29330. <https://doi.org/10.1038/srep27199>
- Hati, K.M., Swarup, A., Dwivedi, A., Misra, A., Bandyopadhyay, K. (2007). Changes in soil physical properties and organic carbon status at the topsoil horizon of a vertisol of central India after 28 years of continuous cropping, fertilization and manuring. *Agric Ecosyst Environ*. 119(1):127–34. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.06.017>
- Hedlund, K. (2012). *Soilservice*.
https://www.agrifood.se/Files/Soilservice_FinalPubl.pdf?fbclid=IwAR1I2X1MRqC5wE2mufCbpacT1Xs5oJHbnoQ3ylHGtygRYlxflqm9apNVEI
- Heinonsalo, J. (2020) *Kolguide - översikt över kolet i marken och grunderna i kolbindande jordbruk*. Carbon action. <https://docplayer.se/202684237-Kolguide-oversikt-over-kolet-i-marken-och-grunderna-i-kolbindande-jordbruk-jussi-heinonsalo-red.html>
- Hellman, J. (2017). *Agroforestry på svensk åkermark – vägen mot ett resilient och mångfunktionellt jordbruk?*. SLU Uppsala: Institutionen för växtproduktionsekologi. https://stud.epsilon.slu.se/11051/1/hellman_j_170925.pdf
- Jian, J. S., Du, X., Reiter, M. S., & Stewart, R. D. (2020). A meta-analysis of global cropland soil carbon changes due to cover cropping. *Soil Biology & Biochemistry*, 143, Article 107735. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107735>
- Johnston AE, Poulton PR, Coleman K. (2009). Soil organic matter: its importance in sustainable agriculture and carbon dioxide fluxes. *Advances in Agronomy*. 101:1–57.
- Jordbruksverket. (2008). *Reducerad jordbearbetning*. Jordbruksinformation 28 – 2008. https://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_jo/jo08_28.pdf
- King, A. E., & Blesh, J. (2018). Crop rotations for increased soil carbon: perennality as a guiding principle. *Ecological Applications*, 28(1), 249-261.
<https://doi.org/10.1002/eap.1648>

- Klimatpolitiska vägvalsutredningen. (2020). *Vägen till en klimatpositiv framtid* (SOU 2020:4). Miljödepartementet.
<https://www.regeringen.se/4a9e84/contentassets/1c43bca1d0e74d44af84a0e2387bfbcc/vagen-till-en-klimatpositiv-framtid-sou-20204>
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). *World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated*. <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/present.htm> (Hämtad 2022-03-12)
- Kätterer, T., Bolinder, M. A., Andren, O., Kirchmann, H., & Menichetti, L. (2011). Roots contribute more to refractory soil organic matter than above-ground crop residues, as revealed by a long-term field experiment. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 141(1-2), 184-192. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.02.029>
- Lal R, Reicosky D, Hanson J. (2007). Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. *Soil Tillage Research*. 93(1):1–12.
<https://doi.org/10.1016/j.still.2006.11.004>
- Land, M., Hedlund, K., Kätterer, T., Bracht Jörgensen, H., Haddaway, N., Brady, M. (2021, april). *Växtföljers påverkan på inlagring av organiskt kol i jordbruksmark En systematisk översikt och samhällsekonomisk analys*. Formas - Forskningsrådet för miljö, areella näringar och samhällsbyggande.
<https://formas.se/download/18.453f3191784aec71fd3e990/1622192325983/f1-2021-vaxtfoljers-paverkan-pa-inlagring-av-organiskt-kol.pdf>
- Lessmann, M., Ros, G. H., Young, M. D., & de Vries, W. (2022). Global variation in soil carbon sequestration potential through improved cropland management. *Global Change Biology*, 28(3), 1162-1177. <https://doi.org/10.1111/gcb.15954>
- Li, Y., Li, Z., Chang, S. X., Cui, S., Jagadamma, S., Zhang, Q. P., & Cai, Y. J. (2020). Residue retention promotes soil carbon accumulation in minimum tillage systems: Implications for conservation agriculture. *Science of the Total Environment*, 740, Article 140147. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140147>
- Lithourgidis, AS., Dordas, CA., Damalas, CA., Vlachostergios, DN. (2011). Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture. *Australian journal of crop science*. 5(4). 396-410.
http://www.cropj.com/anastasios_5_4_2011_396_410.pdf
- Liu, S. B., Wang, J. Y., Pu, S. Y., Blagodatskaya, E., Kuzyakov, Y., & Razavi, B. S. (2020). Impact of manure on soil biochemical properties: A global synthesis. *Science of the Total Environment*, 745, Article 141003.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141003>
- Luo, G. W., Li, L., Friman, V. P., Guo, J. J., Guo, S. W., Shen, Q. R., & Ling, N. (2018). Organic amendments increase crop yields by improving microbe-mediated soil

- functioning of agroecosystems: A meta-analysis. *Soil Biology & Biochemistry*, 124, 105-115. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.06.002>
- Ma, Z. L., Chen, H. Y. H., Bork, E. W., Carlyle, C. N., & Chang, S. X. (2020). Carbon accumulation in agroforestry systems is affected by tree species diversity, age and regional climate: A global meta-analysis. *Global Ecology and Biogeography*, 29(10), 1817-1828. <https://doi.org/10.1111/geb.13145>
- Mayer, S., Wiesmeier, M., Sakamoto, E., Hubner, R., Cardinael, R., Kuhnel, A., & Kogel-Knabner, I. (2022). Soil organic carbon sequestration in temperate agroforestry systems - A meta-analysis. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 323, Article 107689. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107689>
- McClelland, S. C., Paustian, K., & Schipanski, M. E. (2021). Management of cover crops in temperate climates influences soil organic carbon stocks: a meta-analysis. *Ecological Applications*, 31(3). <https://doi.org/10.1002/eap.2278>
- McDaniel, M. D., Tiemann, L. K., & Grandy, A. S. (2014). Does agricultural crop diversity enhance soil microbial biomass and organic matter dynamics? A meta-analysis. *Ecological Applications*, 24(3), 560-570. <https://doi.org/10.1890/13-0616.1>
- Michel, V., Grand, A. och Schlathölter, M. (u.å.). *Gröngödsel & täckgrödor: fördelar och nackdelar*. Best4Soil. <https://www.best4soil.eu/assets/factsheets/sv/10.pdf>
- Muhammad, I., Sainju, U. M., Zhao, F. Z., Khan, A., Ghimire, R., Fu, X., & Wang, J. (2019). Regulation of soil CO₂ and N₂O emissions by cover crops: A meta-analysis. *Soil & Tillage Research*, 192, 103-112. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.04.020> P.K.
- Mutuo, G. Cadisch, A. Albrecht, C.A. Palm, L. Verchot. (2005). Potential of agroforestry for carbon sequestration and mitigation of greenhouse gas emissions from soils in the tropics. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 71, pp. 45-54. <https://doi.org/10.1007/s10705-004-5285-6>
- Nationalencyklopedin. (u.å.a). *Aggregat*. [https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/aggregat-\(v%C3%A4rtekologi\)](https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/aggregat-(v%C3%A4rtekologi)) (Hämtad 2022-05-30)
- Nationalencyklopedin. (u.å.b). *Lipider*. <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/lipider> (Hämtad 2022-05-30)
- Nationalencyklopedin. (u.å.c). *Mull*. <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/enkel/mull> (Hämtad 2022-05-30)
- Nationalencyklopedin. (u.å.d). *Respiration*. <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/respiration> (Hämtad 2022-05-30)

- Nationalencyklopedin. (u.å.e). *Växselbruk*.
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/v%C3%A4xselbruk>
 (Hämtad 2022-05-30)
- Naturvårdsverket. (u.å.). *Nettoutsläpp och nettoupptag av växthusgaser från markanvändning (LULUCF)*.
<https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-nettoutslassp-och-nettoupptag-fran-markanvandning/> (Hämtad 2022-01-25)
- Olsson, P. A., Baath, E., Jakobsen, I., Soderstrom, B. (1995). The use of phospholipid and neutral lipid fatty acids to estimate biomass of arbuscular mycorrhizal fungi in soil. *Mycological Research*, 99, 623-627 [https://doi.org/10.1016/S0953-7562\(09\)80723-5](https://doi.org/10.1016/S0953-7562(09)80723-5)
- Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G. P., & Smith, P. (2016). Climate-smart soils. *Nature*, 532(7597), 49-57. <https://doi.org/10.1038/nature17174>
- Poeplau, C., & Don, A. (2015). Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops - A meta-analysis. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 200, 33-41. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.024>
- Ranaivoson, L., Naudin, K., Ripoche, A., Affholder, F., Rabearisoa, L., & Corbeels, M. (2017). Agro-ecological functions of crop residues under conservation agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(4), Article 26. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0432-z>
- Shackelford, G. E., Kelsey, R., & Dicks, L. V. (2019). Effects of cover crops on multiple ecosystem services: Ten meta-analyses of data from arable farmland in California and the Mediterranean. *Land Use Policy*, 88, Article 104204. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104204>
- Shi, L. L., Feng, W. T., Xu, J. C., & Kuzyakov, Y. (2018). Agroforestry systems: Meta-analysis of soil carbon stocks, sequestration processes, and future potentials. *Land Degradation & Development*, 29(11), 3886-3897. <https://doi.org/10.1002/ldr.3136>
- Six, J., Conant, R. T., Paul, E. A., & Paustian, K. (2002). Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil*, 241(2), 155-176. <https://doi.org/10.1023/a:1016125726789>
- Svensk kolinlagring. (2020). *Årsberättelse 2020*. <https://kolinlagring.se/wp-content/uploads/2021/02/a%CC%8Arsbera%CC%88ttelse300621.pdf> (Hämtad 2022-01-17)
- Tisdall, J. M., & Oades, J. M. (2012). Landmark Papers: No. 1. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *European Journal of Soil Science*, 63(1), 8-21. <Go to ISI>://WOS:000299155000004
- Van Oost, K., Quine, T., Govers, G., De Gryze, S., Six, J., Harden, J., Ritchie, J. C., McCarty, G.W., Heckrath, G., Kosmas, C., Giraldez, J.V., da Silva, J.R.M., Merckx, R. (2007).

- The impact of agricultural soil erosion on the global carbon cycle. *Science*. 318(5850), 626–9. <https://doi.org/10.1126/science.1145724>
- Vetenskapsrådet. (2017). *God forskningssed*.
https://www.vr.se/download/18.2412c5311624176023d25b05/1555332112063/Go-d-forskningssed_VR_2017.pdf
- Växtekologiska institutionen. (1977). *Ekologisk metodik : enkla metoder för ekologisk beskrivning, insamling och analys : en sammanställning*. Institutionen, L. universitet. A. för ekologisk botanik-L. universitet. A. för ekologisk zoologi-L. universitet. L.
- Wang, Q. J., Liu, X., Li, J. Y., Yang, X. Y., & Guo, Z. H. (2021). Straw application and soil organic carbon change: A meta-analysis. *Soil and Water Research*, 16(2), 112-120. <https://doi.org/10.17221/155/2020-swr>
- Whalen, J.K., Sampedro, L. (2010). *Soil ecology & management*. CAB International.
- White, D. C., Davis, W. M., Nickels, J. S., King, J. D., & Bobbie, R. J. (1979). DETERMINATION OF THE SEDIMENTARY MICROBIAL BIOMASS BY EXTRACTABLE LIPID PHOSPHATE. *Oecologia*, 40(1), 51-62. <https://doi.org/10.1007/bf00388810>
- Wijesekara, H., Colyvas, K., Rippon, P., Hoang, S. A., Bolan, N. S., Manna, M. C., Thangavel, R., Seshadri, B., Vithanage, M., Awad, Y. M., Surapaneni, A., Saint, C., Tian, G. L., Torri, S., Ok, Y. S., & Kirkham, M. B. (2021). Carbon sequestration value of biosolids applied to soil: A global meta-analysis. *Journal of Environmental Management*, 284, Article 112008. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112008>
- Xu, H., Sieverding, H., Kwon, H., Clay, D., Stewart, C., Johnson, J. M. F., Qin, Z. C., Karlen, D. L., & Wang, M. (2019). A global meta-analysis of soil organic carbon response to corn stover removal. *Global Change Biology Bioenergy*, 11(10), 1215-1233. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12631>

Appendix

Bilaga 1

Tabell 1: Metadata från fältstudie

Tabellen visar information om provtagna fält. Fälten som jämförs med varandra har placerats under samma jämförelsenummer (kolumn 1).

Jämförelse #	Gård/fält	Växtföljd	Mellangröda i växtföljden	Jordbearbetning	Gödsling	Hantering av skörderester
1	KR	2016: höstraps	Ja.	Ingen plöjning	Organiskt gödsel 2 gånger (2019 och 2022): biogödsel (restprodukt från biogasrötning) - 30 t/ha i mars.	Lämnas kvar (förutom 2017)
		2017: höstvetete + insådd av rödsvingel				
		2018: rödsvingel				
		2019: samodling av höstraps + blålupin,				

		bovete och alexandrinerklöver				
		2020: höstvetete + mellangröda (foderärt, bovete, blodklöver, honungsört, lin, luddvicker)				
		2021: havre				
		2022: höstvetete				
	B	2014: ängsgröe	Nej	Plöjning	Inget organiskt gödsel.	Lämnas kvar (förutom 2018 och 2019)
		2015: höstvetete				
		2016: sockerbetor				
		2017: vårkorn				
		2018: höstvetete				

		2019: vårkorn				
		2020: höstraps				
		2021: höstvete				
		2022: höstvete				
2	C (CR)	2017: höstvete	Nej	Ingen plöjning (har haft plöjningsfritt i cirka 20 år)	Organiskt gödsel 2 gånger: 10 t slam/ha (3 års giva) efter höstvete 2017/inför höstvete 2018, 17 t slam/ha (5 års giva) efter vårkorn 2020/inför höstraps 2021.	Lämnas kvar
		2018: höstvete				
		2019: sockerbetor				
		2020: vårkorn				
		2021: höstraps				
		2022: höstvete				

	C (CV)	2017: höstvete	Nej	Ingen plöjning	Organiskt gödsel 1 gång: 17 t/ha slam (5 års giva) efter vårkorn 2019/inför höstraps 2020	Lämnas kvar
		2018: sockerbetor				
		2019: vårkorn				
		2020: höstraps				
		2021: höstvete				
		2022: höstvete				
	T	2017: höstraps	Nej	Plöjning	Organiskt gödsel: <u>2022</u> : kläckeriavfall 25 m ³ /ha. Ca 50-60 kg N/ha (20 april). <u>2019</u> : hönsgödsel 4ton/ha och harvades ner (1 april). <u>2018</u> : kläckeriavfall 16 m ³ /ha. Ca 50-60 kg N/ha (25 april).	Lämnas kvar
		2018: höstvete				
		2019: sockerbetor				
		2020: korn + insådd vitklöver				

		2021: vitklöver fröodling				
		2022: höstvete				
3	HC	2018: vårkorn	Ja, 2022: alexandriner, blodklöver, vitklöver, cikoria.	Ingen plöjning, lättare bearbetning med radhacka (plöjde dock fältet mellan vall och raps).	Organiskt gödsel: 2022: 600kg Biofer 10-3-1. 2021: Höns gödsel 6 ton/ha + Hästgödsel 1 ton/ha + Fastgödsel nöt 8 ton/ha (på hösten) och hönsflytgödsel 13 ton/ha (på våren).	Lämnas kvar
		2019: vall				
		2020: vall				
		2021: raps				
		2022: höstvete				
	HG	2017: höstvete	Nej	Ingen plöjning	Biogödsel digestat (restprodukter från biogasproduktion), även mineralgödsel vid behov.	Lämnas kvar
		2018: sockerbetor				
		2019: vårkorn				

		2020: höstvete				
		2021: vårkorn				
		2022: höstvete				
4	AI	2015: vall	Nej, men fälten hålls alltid gröna över vintern (förutom efter skörd av sockerbetor).	Harvning för att få bort ogräs. Plöjning efter skörd av sockerbetor, höstraps, bondbönor/ vårvete och lupin/vårkorn. Vallen plöjs i januari efter en säsongs tillväxt. Ingen plöjning eller annan bearbetning efter skörd av höstvete och höstråg.	Använder ej mineralgödsel. Organiskt gödsel. Digestate och Biofer (rester från produktion av biogas) 30-40 kg N per ha och år för höstvete, höstraps, höstråg och sockerbetor.	Lämnas kvar
		2016: samodling av vårkorn och lupin				
		2017: höstråg				
		2018: vall				
		2019: sockerbetor				
		2020: samodling av vårvete och bondböna				

		2021: samodling av höstraps och alexandriner				
		2022: höstvetete				
	KV	2019: sockerbetor	Ja, vall (gräs och baljväxter) etableras efter höstvetete.	Plöjning eller annan bearbetning efter skörd av sockerbetor, vinterraps och vårkorn. Ingen plöjning efter skörd av höstvetete pga insådd av vall.	Mineralgödsel. Höstvetet gödslas med 160-200 kg N per ha, beroende på säsong.	Lämnas kvar
		2020: vårkorn				
		2021: höstraps				
		2022: höstvetete + mellangröda				

Tabell 2 Metoder på fälten

Tabellen visar vilka metoder för kolinlagring som appliceras på varje studerat fält.

Gård/fält	Har mellangröda i växtföljden	Har ingen eller reducerad jordbearbetning	Har baljväxt i växtföljden	Har perenna växter i växtföljden	Gödslar med organiskt gödsel	Lämnar kvar skörderester	Antal applicerade metoder
KR	Ja	Ja (ingen plöjning)	Ja	Nej	Ja	Ja	5
B	Nej	Nej	Nej	Ja	Nej	Ja	2
C (CR & CV)	Nej	Ja (ingen plöjning)	Nej	Nej	Ja	Ja	3
	Nej	Ja (ingen plöjning)	Nej	Nej	Ja	Ja	3
T	Nej	Nej	Ja	Nej	Ja	Ja	3
HC	Ja	Ja (ingen plöjning)	Nej	Ja	Ja	Ja	5
HG	Nej	Ja (ingen plöjning)	Nej	Nej	Ja	Ja	3
AI	Nej	Nej	Ja	Nej	Ja	Ja	3
KV	Ja	Nej	Nej	Nej	Nej	Ja	2

Bilaga 2

Tabell 1 Effekt på SOC av enskilda metoder

Tabellen visar en sammanställning av olika metoders effekt på halten eller mängden organiskt kol i marken, uppdelat i olika jämförelser. Kontroll = det man jämfört med.

#	Metod	Kontroll	Effekt på halten organiskt kol (koncentration)	Effekt på mängden organiskt kol (förråd)	Artikel
1	Ingen jordbearbetning (no-till)	Högintensiv jordbearbetning	+2,09 g/kg ± 0,34 (SE) (0-15 cm)	+ 4,61 Mg/ha ± 1,95 (SE) (0-30 cm)	Haddaway et al. (2017)
2	Ingen jordbearbetning (no-till)	Medelintensiv jordbearbetning	+1,18 g/kg ± 0,34 (SE) (0-15 cm)	+3,85 Mg/ha ± 1,64 (SE)] (0-30 cm)	Haddaway et al. (2017)
3	Medelintensiv jordbearbetning	Högintensiv jordbearbetning	+1,30 g/kg ± 0,22 (SE) (0-15 cm)	Ingen signifikant effekt = 0	Haddaway et al. (2017)
4	Högintensiv jordbearbetning	Medelintensiv jordbearbetning	+0,89 g/kg ± 0,20 (SE) (15-30 cm)	-	Haddaway et al. (2017)
5	Varierade växtföljder med baljväxter	Upprepad monokultur som inkluderar baljväxt	+0,26 g/kg	-	Land et al. (2021)

6	Varierade växtföljder med baljväxter	Upprepade monokulturer som inte utgörs av en baljväxt	+0,35 g/kg	-	Land et al. (2021)
7	Varierade växtföljder med perenna baljväxter (här klöver- eller lusernarter)	Upprepade monokulturer som inte utgörs av en baljväxt	+0,81 g/kg	-	Land et al. (2021)
8	Varierade växtföljder med ettåriga baljväxter (t.ex. ärtor, bönor, soja)	Upprepad monokultur som inte utgörs av en baljväxt	Ingen signifikant effekt = 0	-	Land et al. (2021)
9	Varierade växtföljder (perenna och ettåriga baljväxter)	Upprepad monokultur som inte utgörs av en baljväxt	+0,19 g/kg	-	Land et al. (2021)
10	Varierade växtföljder med baljväxter	Upprepade monokulturer som är baljväxter	Ingen signifikant effekt = 0	-	Land et al. (2021)
11	Varierade växtföljder med gröntråda eller grüngödslingsvall	Upprepad monokultur med gröntråda eller grüngödslingsvall.	+0,53 g/kg	-	Land et al. (2021)
12	Varierade växtföljder med enbart spannmål	Upprepad monokultur	-0,42 g/kg	-	Land et al. (2021)

13	Varierade växtföljder som består av andra grödor (t.ex. vete-raps-sockerbeta)	Upprepad monokultur	Ingen signifikant effekt = 0	-	Land et al. (2021)
14	Varierade växtföljder som innehåller baljväxter	Varierade växtföljder utan baljväxter	+1,8 g/kg	-	Land et al. (2021)
15	Växtföljder med baljväxter (exklusive flerårsväxter)	Varierade växtföljder utan baljväxter	+0,61 g/kg	-	Land et al. (2021)
16	Varierade växtföljder med flerårsväxter	Varierade växtföljder som saknar flerårsväxter	+3,5 g/kg	-	Land et al. (2021)
17	Växtföljder med långvariga flerårsväxter	Varierade växtföljder som saknar flerårsväxter	+3,7 g/kg	-	Land et al. (2021)
18	Växtföljder med kortvariga flerårsväxter	Varierade växtföljder som saknar flerårsväxter	+1,3 g/kg	-	Land et al. (2021)
19	Mellangrödor	Växtrotation med endast spannmål eller spannmål och baljväxter	+6,3%	-	King & Blesh (2018)
20	Mellangrödor	“Konventionell jordbruk”	-	+10%	Aguilera et al. (2013)
21	Mellangrödor	Ingen mellangröda	+15%	-	Muhammad et al. (2019)

22	Mellangrödor	Ingen mellangröda	-	+6%	Bai et al. (2019)
23	Mellangrödor	Monokultur	+8,5	-	McDaniel et al. (2014)
24	Mellangrödor	Ingen mellangröda	-	+15,5%	Jian et al. (2020)
25	Mellangrödor	Ingen mellangröda	-	+12%	McClelland et al. (2021)
26	Mellangrödor	Ingen mellangröda	+10%	-	Crystal-Ornelas et al. (2021)
27	Agroforestry	Växtodling och betesmark	-	+19% (126 Mg C/ha) (0-100 cm).	Shi et al. (2018)
28	Agroforestry (homegardens)	Växtodling och betesmark	-	+50%	Shi et al. (2018)
29	Agroforestry (alley cropping, vindskydd och skogsbete)	Växtodling och betesmark	-	+25%	Shi et al. (2018)
30	Agroforestry	Växtodling och betesmark	-	+25,9%	Ma et al. (2020)

31	Agroforestry (alley cropping, hedgerows and silvopastoral systems)	Växtodling och betesmark	-	+17,5% (47.1 ± 29.2 t/ha) (0-20 cm) +10,8% (31.7 ± 11.8 t/ha). (20–40 cm)	Mayer et al. (2022)
32	Agroforestry (Agrisilviculture, Agrosilvopasture, Silvopasture, Multistrata Systems, Silvoarable Systems, Protective Systems)	Växtodling och betesmark	-	+5.8% (0-100 cm) (medelhavsklimat) -5.3% (0-100 cm) (tempererat klimat)	Chatterjee et al. (2018)
33	Tillförsel/kvarlämnande av skörderester ovan jord (majs, vete och ris)	Barmark	-	+50% vid tillförsel av 6 t/ha.	Ranaivoson et al. (2017)
34	Organisk gödning	Ingen gödning	-	+35,4% (95% CI 32–39%) (10,7 Mg/ha) (95% CI 9,8–11,6 Mg ha ⁻¹).	Gross & Glaser (2021)
35	Gödning (gårdsgödsel)	Ingen gödning	-	+50% (15,8 Mg/ha)	Gross & Glaser (2021)
36	Gödning (nötkreatur)	Ingen gödning	-	+32% (15 Mg/ha)	Gross & Glaser (2021)

37	Gödsling (gris)	Ingen gödsling	-	+41% (9,7 Mg/ha)	Gross & Glaser (2021)
38	Gödsling (höns)	Ingen gödsling	-	+39% (8,9 Mg/ha)	Gross & Glaser (2021)
39	Gödsling (får)	Ingen gödsling	-	+35% (7 Mg/ha)	Gross & Glaser (2021)
40	Gödsling (häst)	Ingen gödsling	-	+23% (8,3 Mg/ha)	Gross & Glaser (2021)
41	Gröngödsling	Ingen gödsling	-	+17% (5,1 Mg/ha)	Gross & Glaser (2021)
42	Tillförsel av halm	Ingen gödsling	-	+23% (6,4 Mg/ha)	Gross & Glaser (2021)
43	Gröngödsling och tillförsel av halm	Ingen gödsling	-	+11% (4,5 Mg/ha)	Gross & Glaser (2021)
44	Tillsättning av slam/rötslam (biosolids) (100 Mg/ha)	Ingen tillsättning av slam	+3,29%	-	Wijesekara et al. (2021)
45	Obalanserad applicering av kemiska gödselmedel	Ingen gödsling	+10% (0.9 (0.7–1.0)g/kg)	-	Han et al. (2016)

46	Balanserad spridning av kemiska gödselmedel	Ingen gödsling	+15,4% (1.7 (1.2–2.3)g/kg)	-	Han et al. (2016)
47	Kemiska gödselmedel med tillförsel av halm	Ingen gödsling	+19,5% (2.0 (1.9–2.2)g/kg)	-	Han et al. (2016)
48	Kemisk gödsling och organisk gödsling	Ingen gödsling	+36,2% (3.5 (3.2–3.8)g/kg)	-	Han et al. (2016)
49	Organiska tillsatser	Konventionellt jordbruk	-	+23,5%	Aguilera et al. (2013)
50	Organiska tillsatser	Inga organiska tillsatser	+24%	-	Crystal-Ornelas et al. (2021)
51	Tillförsel av skörderester (halm)	Mineralgödsling eller ingen gödsling	0.06–0.29 g/kg	-	Wang et al. (2021)
52	Tillförsel av skörderester (majs)	Avlägsnande av skörderester.		+5%	Xu et al. (2019)

Tabell 2 Effekten av multipla metoder

Tabellen visar en sammanställning av de olika kombinationer av jordbruksmetoder som presenteras i litteraturen och deras effekt på organiskt kol i marken. Kontroll = den jordbruksmetod som man jämfört med.

#	Kombinerade metoder	Kontroll	Effekt på halten organiskt kol (koncentration)	Effekt på mängden organiskt kol (förråd)	Artikel
1	Kombination av organiska tillsatser, mellangrödor, skörderester och reducerad eller ingen jordbearbetning	Konventionellt jordbruk	-	+50%	Aguilera et al. (2013)
2	Perenna växtföljder i kombination med mellangrödor	Ingen mellangröda	-	+35%	McClelland et al. (2021)
3	Mellangrödor i kombination med låga nivåer av kvävegödsling (1–100 kg N/ha)	Inga mellangrödor	-	+6%	Bai et al. (2019)
4	Mellangrödor i kombination med medelhöga nivåer av kvävegödsling (101–200 kg N/ha)	Inga mellangrödor	-	+3%	Bai et al. (2019)

5	Mellangrödor i kombination med höga nivåer av kvävegödsling (>200 kg N/ha)	Inga mellangrödor	-	+3%	Bai et al. (2019)
6	Ingen plöjning i kombination med låga nivåer av kvävegödsling (1–100 kg N/ha)	Konventionell plöjning	-	+11%	Bai et al. (2019)
7	Ingen plöjning i kombination med medelhöga nivåer av kvävegödsling (101–200 kg N/ha)	Konventionell plöjning	-	+8%	Bai et al. (2019)
8	Ingen plöjning i kombination med höga nivåer av kvävegödsling (>200 kg N/ha)	Konventionell plöjning	-	+6%	Bai et al. (2019)
9	Reducerad plöjning i kombination med låga nivåer av kvävegödsling (1–100 kg N/ha)	Konventionell plöjning	-	+6,5%	Bai et al. (2019)
10	Reducerad plöjning i kombination med medelhöga nivåer av kvävegödsling (101–200 kg N/ha)	Konventionell plöjning	-	+13%	Bai et al. (2019)
11	Reducerad plöjning i kombination med höga nivåer av kvävegödsling (>200 kg N/ha)	Konventionell plöjning	-	+6,5%	Bai et al. (2019)

12	Växtföljder som innehåller baljväxter i kombination med ingen jordbearbetning	Upprepad monokultur i kombination med ingen jordbearbetning	+1,2 mg/kg	-	Land et al. (2021)
13	Varierade växtföljder som innehåller baljväxter i kombination med reducerad jordbearbetning	Upprepad monokultur i kombination med ingen jordbearbetning	Ingen statistiskt signifikant skillnad	-	Land et al. (2021)
14	Varierade växtföljder som innehåller baljväxter i kombination med konventionell jordbearbetning	Upprepad monokultur i kombination med ingen jordbearbetning	Ingen statistiskt signifikant skillnad	-	Land et al. (2021)
15	Reducerad jordbearbetning i kombination med växtrotation	Upprepad monokultur i kombination med ingen jordbearbetning	-	Ingen statistiskt signifikant skillnad	Bai et al. (2019)
16	Reducerad jordbearbetning i kombination med kontinuerlig odling	Upprepad monokultur i kombination med ingen jordbearbetning	-	Ingen statistiskt signifikant skillnad	Bai et al. (2019)
17	Ingen plöjning i kombination med växtrotation	Upprepad monokultur i kombination med ingen jordbearbetning	-	Ingen statistiskt signifikant skillnad	Bai et al. (2019)

18	Ingen jordbearbetning i kombination med kontinuerlig odling	Upprepad monokultur i kombination med ingen jordbearbetning	-	Ingen statistiskt signifikant skillnad	Bai et al. (2019)
19	Mellangrödor i kombination med ingen jordbearbetning	Ingen mellangröda och konventionell jordbearbetning	-	+16%	McClelland et al. (2021)
20	Mellangrödor i kombination med konventionell plöjning	Ingen mellangröda och ingen/reducerad jordbearbetning	-	+9%	McClelland et al. (2021)
21	Mellangrödor i kombination med ingen jordbearbetning	Mellangrödor i kombination med reducerad jordbearbetning	-	Ingen statistiskt signifikant skillnad	McClelland et al. (2021)
22	Mellangrödor i kombination med reducerad jordbearbetning	Mellangrödor i kombination med konventionell plöjning	-	Ingen statistiskt signifikant skillnad	McClelland et al. (2021)
23	Kvarlämnande av skörderester vid ingen plöjning	Konventionell plöjning	-	+9%	Bai et al. (2019)
24	Kvarlämnande av skörderester vid reducerad plöjning	Konventionell plöjning	-	+5%	Bai et al. (2019)

25	Kvarlämnande av skörderester i kombination med odling av mellangrödor	Konventionell plöjning	-	+6%	Bai et al. (2019)
26	Skörderester tas bort i kombination med mellangrödor och reducerad plöjning	Konventionell plöjning	-	Ingen signifikant effekt	Bai et al. (2019)
27	Ingen plöjning i kombination med att skörderester tas bort	Konventionell plöjning	-	+5%	Bai et al. (2019)
28	Organiskt gödsel och tillsättning av extra mineralgödsel	Endast organisk gödsling	-	+1,7 Mg /ha	Gross och Glaser (2021)
29	Organisk gödsling i kombination med konventionell plöjning	Gödsling i kombination med reducerad jordbearbetning	-	+2,2 Mg /ha	Gross och Glaser (2021)
30	Ingen plöjning i kombination med avlägsnande av skörderester	Konventionell plöjning i kombination med avlägsnande av skörderester	-	Ingen signifikant effekt	Xu et al. (2019)
31	Gödsling (kompost) + mellangrödor	Konventionellt jordbruk (kemisk gödsling)	-	+26,2%	Aguilera et al. (2013)
32	Gödsling (manure) + mellangrödor	Konventionellt jordbruk (kemisk gödsling)	-	+35,8%	Aguilera et al. (2013)

33	Kvarlämnande av skörderester i kombination med reducerad jordbearbetning	Konventionell plöjning	-	+12% (0–30 cm djup)	Li et al. (2020)
34	Kvarlämnande av skörderester i kombination med ingen jordbearbetning	Konventionell plöjning	-	+13% (0–30 cm djup)	Li et al. (2020)
35	Kvarlämnande av skörderester i kombination med ingen jordbearbetning	Kvarlämnande av skörderester i kombination med reducerad jordbearbetning	-	Ingen signifikant skillnad	Li et al. (2020)
36	Kvarlämnande av skörderester i kombination med ingen jordbearbetning	Ingen plöjning	-	+13%	Li et al. (2020)
37	Kvarlämnande av skörderester i kombination med konventionell jordbearbetning	Konventionell plöjning	-	+10%	Li et al. (2020)
38	Kvarlämnande av skörderester i kombination med ingen jordbearbetning	Kvarlämnande av skörderester i kombination med konventionell jordbearbetning	-	Ingen signifikant skillnad	Li et al. (2020)

Bilaga 3

Tabell 1 Vattenkapacitet ANOVA

Tabellen visar resultat av ANOVA för vattenkapacitet (log-transformerad data) (behandling vs kontroll).

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: In_vattenkapacitet

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	Hypothesis	8.610	1	8.610	200.877	.005
	Error	.086	2.005	.043 ^a		
Behandling	Hypothesis	.162	1	.162	28.248	.032
	Error	.012	2.038	.006 ^b		
Ort	Hypothesis	.086	2	.043	7.534	.117
	Error	.011	2	.006 ^c		
Behandling * Ort	Hypothesis	.011	2	.006	.889	.432
	Error	.097	15	.006 ^d		

a. .992 MS(Ort) + .008 MS(Error)

b. .992 MS(Behandling * Ort) + .008 MS(Error)

c. MS(Behandling * Ort)

d. MS(Error)

Tabell 2 Vattenkapacitet korrelation

Tabellen visar korrelation mellan antal applicerade åtgärder för kolinlagring (kriterier) och vattenkapacitet (g H₂O/g jord).

Correlations

		Vattenkapacitet		Kriterier
Spearman's rho	Vattenkapacitet	Correlation Coefficient	1.000	.447*
		Sig. (2-tailed)	.	.015
		N	29	29
	Kriterier	Correlation Coefficient	.447*	1.000
		Sig. (2-tailed)	.015	.
		N	29	29

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Tabell 3 Kolhalt Kruskal-Wallis test

Tabellen visar resultat av Kruskal-Wallis test för kolhalt (behandling vs kontroll).

Independent-Samples Kruskal-Wallis Test Summary

Total N	21
Test Statistic	2.672 ^{a,b}
Degree Of Freedom	1
Asymptotic Sig.(2-sided test)	.102

- a. The test statistic is adjusted for ties.
- b. Multiple comparisons are not performed because the overall test does not show significant differences across samples.

Tabell 4 Kolhalt korrelation

Tabellen visar korrelationen mellan antal applicerade åtgärder för kolinlagring (kriterier) och kolhalt (%).

Correlations

		Kolhalt	Kriterier
Spearman's rho	Kolhalt	Correlation Coefficient	1.000
		Sig. (2-tailed)	.
		N	29
	Kriterier	Correlation Coefficient	.341
		Sig. (2-tailed)	.070
		N	29

Tabell 5 Kolhalt ANOVA (jordbearbetningsmetoder)

Tabellen visar resultat av ANOVA för kolhalt (plöjning vs ingen plöjning).

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Kolhalt

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1.140 ^a	1	1.140	5.044	.033
Intercept	89.006	1	89.006	393.807	<.001
Jordbearbetning	1.140	1	1.140	5.044	.033
Error	6.102	27	.226		
Total	97.052	29			
Corrected Total	7.242	28			

a. R Squared = .157 (Adjusted R Squared = .126)

Tabell 6 Kolhalt ANOVA (grödor)

Tabellen visar resultat av ANOVA för kolhalt (mellangrödor och/eller perenna grödor i växtföljden vs utan).

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Kolhalt

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.000 ^a	1	.000	.001	.973
Intercept	87.082	1	87.082	324.662	<.001
Mellangröda	.000	1	.000	.001	.973
Error	7.242	27	.268		
Total	97.052	29			
Corrected Total	7.242	28			

a. R Squared = .000 (Adjusted R Squared = -.037)

Tabell 7 Mikrobiell biomassa (NLFA) ANOVA

Tabellen visar resultat av ANOVA för mikrobiell biomassa (NLFA) (behandling vs kontroll).

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: NLFA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
Intercept	Hypothesis	396.112	1	396.112	139.646	.007
	Error	5.763	2.032	2.837 ^a		
Behandling	Hypothesis	2.635	1	2.635	.337	.620
	Error	15.723	2.011	7.817 ^b		
Ort	Hypothesis	5.675	2	2.838	.361	.735
	Error	15.719	2	7.859 ^c		
Behandling * Ort	Hypothesis	15.719	2	7.859	2.911	.085
	Error	40.497	15	2.700 ^d		

a. .992 MS(Ort) + .008 MS(Error)

b. .992 MS(Behandling * Ort) + .008 MS(Error)

c. MS(Behandling * Ort)

d. MS(Error)

Tabell 8 Mikrobiell biomassa (NLFA) korrelation

Tabellen visar korrelation mellan antal applicerade åtgärder för kolinlagring (kriterier) och NLFA biomassa (nmol/g).

Correlations

		Kriterier	NLFA
Spearman's rho	Kriterier	Correlation Coefficient	1.000
		Sig. (2-tailed)	.
		N	29
	NLFA	Correlation Coefficient	.452*
		Sig. (2-tailed)	.016
		N	28

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Tabell 9 Mikrobiell biomassa (PLFA bakteriell) ANOVA

Tabellen visar resultat av ANOVA för PLFA bakteriell biomassa (behandling vs kontroll).

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: PLFAbakteriell

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	Hypothesis	12124.431	1	12124.431	892.875	<.001
	Error	28.212	2.078	13.579 ^a		
Behandling	Hypothesis	394.656	1	394.656	309.839	<.001
	Error	3.959	3.108	1.274 ^b		
Ort	Hypothesis	26.868	2	13.434	13.095	.071
	Error	2.052	2	1.026 ^c		
Behandling * Ort	Hypothesis	2.052	2	1.026	.033	.968
	Error	465.248	15	31.017 ^d		

a. .992 MS(Ort) + .008 MS(Error)

b. .992 MS(Behandling * Ort) + .008 MS(Error)

c. MS(Behandling * Ort)

d. MS(Error)

Tabell 10 Mikrobiell biomassa (PLFA bakteriell)

Tabellen visar korrelation mellan antal applicerade metoder för kolinlagring och PLFA bakteriell biomassa (nmol/g).

Correlations

		Kriterier	PLFAbakterie II
Spearman's rho	Kriterier	Correlation Coefficient	1.000
		Sig. (2-tailed)	.
		N	29
	PLFAbakteriell	Correlation Coefficient	.355
		Sig. (2-tailed)	.058
		N	29

Tabell 11 Mikrobiell biomassa (PLFA nedbrytande svamp)

Tabellen visar resultat av ANOVA för PLFA svampbiomassa (nmol/g).

Tests of Between-Subjects Effects						
Dependent Variable: PLFAsvamp						
Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	Hypothesis	2168.732	1	2168.732	508.521	.002
	Error	8.711	2.043	4.265 ^a		
Behandling	Hypothesis	164.257	1	164.257	21.759	.042
	Error	15.278	2.024	7.549 ^b		
Ort	Hypothesis	8.511	2	4.255	.562	.640
	Error	15.134	2	7.567 ^c		
Behandling * Ort	Hypothesis	15.134	2	7.567	1.400	.277
	Error	81.064	15	5.404 ^d		

a. .992 MS(Ort) + .008 MS(Error)
b. .992 MS(Behandling * Ort) + .008 MS(Error)
c. MS(Behandling * Ort)
d. MS(Error)

Tabell 12 Mikrobiell biomassa (PLFA nedbrytande svamp) korrelation

Tabellen visar Korrelation mellan antal applicerade metoder för kolinlagring och PLFA svampbiomassa (nmol/g).

			Kriterier	PLFAsvamp
Spearman's rho	Kriterier	Correlation Coefficient	1.000	.285
		Sig. (2-tailed)	.	.133
		N	29	29
PLFAsvamp	Kriterier	Correlation Coefficient	.285	1.000
		Sig. (2-tailed)	.133	.
		N	29	29

Tabell 13 Respirationshastighet ANOVA

Tabellen visar resultat av ANOVA för respirationshastighet ($\mu\text{g CO}_2/\text{g jord och timme}$).

Tests of Between-Subjects Effects						
Dependent Variable: Respirationshastighet						
Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	Hypothesis	298.862	1	298.862	53.864	.018
	Error	11.108	2.002	5.548 ^a		
Behandling	Hypothesis	14.645	1	14.645	17.789	.051
	Error	1.658	2.014	.823 ^b		
Ort	Hypothesis	11.148	2	5.574	6.759	.129
	Error	1.649	2	.825 ^c		
Behandling * Ort	Hypothesis	1.649	2	.825	1.501	.257
	Error	7.692	14	.549 ^d		

a. .995 MS(Ort) + .005 MS(Error)

b. .995 MS(Behandling * Ort) + .005 MS(Error)

c. MS(Behandling * Ort)

d. MS(Error)

Tabell 14 Respirationshastighet korrelation

Korrelation för respirationshastighet och antal applicerade åtgärder för kolinlagring (kriterier).

Correlations

		Respirations hastighet	Kriterier
Spearman's rho	Respirationshastighet	Correlation Coefficient	1.000
		Sig. (2-tailed)	.027
		N	28
	Kriterier	Correlation Coefficient	.418*
		Sig. (2-tailed)	.027
		N	28

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).



LUNDS
UNIVERSITET

WWW.CEC.LU.SE
WWW.LU.SE

Lunds universitet

Miljövetenskaplig utbildning
Centrum för miljö- och
klimatforskning
Ekologihuset
223 62 Lund