

## **Odlingssystemens effekter på kolinlagring i jordbruksmark**

T. Kätterer<sup>1</sup>, G. Börjesson<sup>2</sup> och M.A. Bolinder<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Inst. för ekologi, Uppsala <sup>2</sup>SLU, Inst. för mark & miljö, Uppsala

Korrespondens: thomas.katterer@slu.se

### **Sammanfattning**

Kolhalten ökar i svenska mineraljordar främst p.g.a. ökande areal med vall, men det sker stora förluster av kol från mulljordarna. Kolinlagring gynnas främst av perenna växter med stort rotsystem. Grön mark året om är nyckeln. På rena växtodlingsgårdar kan kolhalten höjas genom ökad produktivitet och mellangrödor.

### **Introduktion**

Markens mullhalt är mycket viktig för dess bördighet. Enligt ett långliggande försök på Ultuna ökar skörden med drygt 20 % om mullhalten ökar med en procentenhet (Henryson, 2018). Kol är fundamentet i allt organiskt material och drygt hälften av markens mull består av kol. Markens kolbalans bestäms huvudsakligen av skillnaden mellan den årliga tillförseln och förluster av kol genom nedbrytning av mullen. Nedbrytningen styrs främst av temperatur och vattenhalt i marken som varierar med klimatförhållanden och jordart, men kan också påverkas i begränsad omfattning exempelvis genom dränering. Tillförseln av kol är mera påverkbar eftersom den främst beror på fotosyntesen som kan styras genom val av gröda samt skötselåtgärder såsom gödsling och bevattning. Ju mera rötter, skörderester och annat organiskt material (stallgödsel, kompost, rötslam) som tillförs marken, desto större blir kolinlagringen, men ökningstakten avtar successivt till dess att ett nytt jämviktstillstånd har uppnåtts när koltillförseln är lika med förlusterna. Kolbalansen i de svenska naturbetesmarkerna ligger nära jämviktstillståndet eftersom skötseln har varit ganska lika under lång tid (Karlton *et al.*, 2010).

Eftersom kolförrådet i marken är så stort tar det lång tid innan effekten av olika odlingssystem och skötselåtgärder blir mätbara. I långliggande fältförsök har små årliga skillnader mellan försöksleden ackumulerats under lång tid. I dessa försök studeras oftast en faktor i taget mellan försöksleden och de är därför ovärderliga för att kvantifiera långsiktiga effekter av enskilda skötselåtgärder (Kätterer *et al.*, 2012). Återkommande markinventeringar är också ett sätt att undersöka utvecklingen av markegenskaper till följd av förändringar i odlingssystem på gårdsnivå, regionalt eller över hela landet.

### **Material och metoder**

Vi har sammanställt relevant litteratur för svenska förhållanden från studier som har kvantifierat effekten av olika skötselåtgärder på kolförrådet i marken. Dessa studier inkluderar analys av kolhaltsförändringar i matjorden under de senaste 25 åren enligt den nationella mark- och grödoinventeringen, analyser av långliggande svenska fältförsök, samt metaanalyser av data från internationell vetenskaplig litteratur.

## Resultat och diskussion

### *Mullhalten ökar i svenska mineraljordar*

I det nationella miljöövervakningsprogrammet ”Mark- och grödoinventeringen” togs jordprover över hela den svenska åkerarealen under perioden 1988 till 1997. I den andra (2001–2007) och tredje omgången (2010–2017) användes provtagningspunkter med fasta koordinater som förbättrade möjligheterna att följa förändringar. Det är totalt ungefär 2 000 provplatser som kan följas över tid. Analyser visar att mullhalten i mineraljordar ökade med 7,7 % i genomsnitt över hela landet under perioden mellan första och tredje provtagningen (Poeplau *et al.*, 2015b). Detta motsvarar en nettolinlagring av över 2 Mton koldioxid per år för hela landet.

Sedan 1980-talet har andelen fleråriga vallar och gröltråda ökat från ca 30 till nästan 50 % av åkerarealen. Detta är den främsta förklaringen till kolinlagringen. Då antalet nötkreatur under samma period minskat kraftigt kan detta inte förklara den ökande vallodlingen. Däremot kunde 72 % av ökningen i vallarealen på länsnivå förklaras med en ökning av antalet hästar. Detta leder till hypotesen att en ökande population av fritidshästar troligtvis varit en viktig faktor för kolinlagring i marken under de senaste 25 åren. Ändras inte markanvändningen kommer mineraljordarna fortsätta att lagra in kol under de närmaste decennierna tills en ny jämvikt mellan koltillförsel och nedbrytning har uppnåtts.

### *Mulljordar förlorar kol*

Trots att dikade mulljordar bara utgör cirka 6 % av åkerarealen släpper de ut 3,4 Mton koldioxid samt 1,1 Mton koldioxidekvivalenter lustgas per år. En gängse uppfattning är att utsläppen skulle vara mindre om vall odlades istället för ettåriga grödor, men senare forskning tyder på att vilken gröda som odlas spelar mindre roll (Norberg *et al.*, 2016). Snarare är det dikningsintensiteten som är avgörande för utsläppen. Att höja grundvattnet verkar vara den enda åtgärden som generellt ger effekt (Musarika *et al.*, 2017). Vid återvätning bromsas nedbrytningen av mullen, vilket gör att avgången av koldioxid och lustgas minskar. Även om metanavgången ökar i samband med återvätningen blir den sammanlagda effekten oftast att utsläppen av växthusgaser totalt minskar.

### *Vallväxter bygger upp kolförrådet*

Vallens positiva effekt för kolinlagring är väl känd. I jämförelse med växtföljder som endast består av ettåriga grödor visar det sig oftast att kolinlagringen ökar ju mera vall som inkluderas i växtföljden (Bolinder *et al.*, 2010). Jämfört med ettåriga grödor lagrar vallar in ungefär 0,6 ton mer kol per ha och år i matjorden, enligt en sammanställning av data från långliggande fältförsök i Sverige och andra länder med liknande mark- och klimatförhållanden (Kätterer *et al.*, 2013). Vallen kan också i vissa fall ha en positiv effekt på kolförråden i övre delen av alven (Börjesson *et al.*, 2018). Variationen mellan platser är dock ganska stor.

Orsaken till att vallar ökar markens kolförråd är att fleråriga växter, i motsats till ettåriga växter som spannmål eller oljeväxter, producerar större mängd underjordisk biomassa. Ettåriga växter har förädlats för att investera merparten av sina resurser på att bilda frö, medan fleråriga växter måste investera i rotsystemet för att kunna överleva vintern. Vallar kommer också igång tidigt på säsongen och växer länge på hösten. Den ovanjordiska produktionen av biomassa hos vall skiljer sig inte mycket från den hos stråsäd, däremot är upptaget av koldioxid större p.g.a. ett större rotsystem. Vid normalskörd finns det ungefär ett ton rötter per ha i stråsäd medan det kan finnas upp till tio ton rötter och rhizom per hektar i en väletablerad vall (Xiong & Kätterer,

2010). Rötter bidrar också mer till kolinlagring än motsvarande mängd ovanjordiska växtrester (Kätterer *et al.*, 2011). En permanent växtlighet bidrar även till att minska kolförluster genom vatten- och vinderosion. Detsamma gäller andra fleråriga växtslag, såsom energiskog, energigräs, permanent bevuxna åkerkanter samt slätter- och betesmarker.

#### *Stallgödsel är en del av kretsloppet*

En del av kolet i vallfodret återförs till marken som gödsel och blir då ett extratillskott som ökar kolförrådet i marken där gödseln sprids (Bolinder *et al.*, 2020). Var stallgödseln sprids spelar i princip inte någon roll för kolförråden. Därför utgör den inte något nettotillskott av kol på regional eller nationell nivå så länge antalet djur inte ändras. Däremot kan tillförsel av restprodukter från industrin eller samhället som för närvarande inte återförs leda till kolinlagring. Kolinlagringen påverkas också av processer som materialet genomgår och som påverkar dess nedbrytbarhet (t.ex. fermentering, kompostering, pyrolys, förgasning). Byter t.ex. en jordbrukare eller ett värmeverk ut sin halmpanna mot en pyrolysanläggning som ger biokol istället för aska som restprodukt och denna biokol tillförs marken, så ökar kolförrådet och man har skapat en ny kolsänka.

#### *Plöjningsfri odling är bra men ökar ofta inte kolförrådet i vårt klimat*

En ofta framförd uppfattning är att jordbruket borde ställa undan plojen för gott och istället direktså, då själva plöjandet anses stimulera nedbrytningen och därmed sänka jordens mull- och kolhalt. Plojen är jordbrukets klimatmarodör hävdas det. Generellt tycks dock inte omblandning i marken, varken genom ytlig bearbetning eller plöjning, nämnvärt påverka nedbrytningen av det organiska materialet i matjorden mer än kortvarigt efter bearbetningstillfället (Kainiemi *et al.*, 2013).

Ett stort antal långliggande försök visar i genomsnitt inga skillnader i det totala kolförrådet mellan plöjda och icke plöjda parceller (Meurer *et al.*, 2018). Kolhalten ökar vid markytan men minskar längre ner; det sker alltså en omfördelning av kol i markprofilen men den totala mängden förblir ungefär densamma. Däremot har plöjningsfri odling många andra fördelar; minskad erosion, livet i marken gynnas (särskilt dagmaskar), samt mindre maskin- och drivmedelskostnader för jordbrukaren vilket är positivt för klimatet. Emellertid kan behovet av bekämpningsmedel och mekanisk ogräsharvning öka om man avstår från att plöja. Den positiva effekten på markens kolbalans i valldominerade växtföljder kan därför inte tillskrivas en lägre plöjningsfrekvens utan den drivs främst av ökad koltillförsel genom rotbiomassa.

#### *Fånggrödor för kolinlagring och minskad utlakning*

Generellt kan man säga att kolinlagring gynnas av grön mark året om och av stor biomassaproduktion; perioden med öppen mark bör därför minimeras av flera skäl. I växtföljder utan vall är mellangrödor ett bra alternativ för att åstadkomma detta. Kolinlagringseffekten av mellangrödor är ungefär hälften så stor som för vallen, dvs. ungefär 0,3 ton kol per hektar och år enligt svenska (Poeplau *et al.*, 2015a) och utländska försök (Bolinder *et al.*, 2020).

#### *Uthållig intensifiering kan höja mullhalten även på växtodlingsgårdar*

Stor produktion genererar både mera ovanjordiska skörderester och rötter som lämnas kvar i fält. Enligt svenska långliggande försök ökar kolhalten i marken med drygt ett kilo för varje kilo mineralkväve som gödslas (Kätterer *et al.*, 2012). Analysen av hundratals internationella långtidsförsök med olika kvävegivor visar att kolförråden i genomsnitt är 6 % högre, eller att de lagrar in 0,2 ton mer per ha och år i försöksled med hög kvävegödsling jämfört med ogödslade

kontroller (Bolinder *et al.*, 2020). Kanske ännu mera betydelsefulla är de indirekta effekterna av stor produktion som leder till att mark kan friställas för andra ändamål än jordbruk, exempelvis naturmark med perenna växter som kommer att bygga upp kolförrådet ytterligare. Odlingssystem med låg produktivitet såsom ekologisk odling leder till lägre kolförråd i marken och är därför inte klimatsmarta.

## Referenser

- Bolinder M.A., Kätterer T., Andrén O., Ericson L., Parent L.-E. och Kirchmann H. (2010) Long-term soil organic carbon and nitrogen dynamics in forage-based crop rotations in Northern Sweden (63-64 oN). *Agriculture, Ecosystems and Environment* 138, 335–342.
- Bolinder M.A., Crotty F., Elsen A., Frac M., Kismányoky T., Lipiec J., Tits M., Zoltán T. och 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* (in press).
- Börjesson G., Bolinder M.A., Kirchmann H. och Kätterer T. (2018) Organic carbon stocks in topsoil and subsoil in long-term ley and cereal monoculture rotations. *Biology and Fertility of Soils* 54, 549–558.
- Henryson K., Sundberg C., Kätterer T. och Hansson P.-A. (2018) Accounting for long-term soil fertility effects when assessing the climate impact of crop cultivation. *Agricultural Systems* 164, 185–192.
- Kainiemi V., Arvidsson J. och Kätterer T. (2013) Short-term organic matter mineralisation following tillage on a Swedish clay soil. *Biology and Fertility of Soils* 49, 495–504.
- Karlton E., Jacobson A. och Lennartsson T. (2010) Inlagring av kol i betesmark. Jordbruksverket. Rapport 25, 40 s.
- Kätterer T., Bolinder M.A., Berglund K. och Kirchmann H. (2012) Strategies for carbon sequestration in agricultural soils in northern Europe. *Acta Agriculturae Scandinavica Section A* 62, 181–198.
- Kätterer T., Bolinder M.A., Thorvaldsson G. och Kirchmann H. (2013) Influence of ley-arable systems on soil carbon stocks in Northern Europe and Eastern Canada. *Grassland Science in Europe* 18, 47–56.
- Kätterer T., Bolinder M.A., Andrén O., Kirchmann H. och 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 and Environment* 141, 184–192.
- Meurer K.H.E., Haddaway N.R., Bolinder M.A. och Kätterer T. (2018) Tillage intensity affects total SOC stocks in boreo-temperate regions only in the topsoil – A systematic review using an ESM approach. *Earth-Science Reviews* 177, 613–622.
- Musarika S., Atherton C.E., Gomersall T., Wells M.J., Kaduk J., Cumming A.M.J., Page S.E., Oechel W.C. och Zona D. (2017) Effect of water table management and elevated CO<sub>2</sub> on radish productivity and on CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> fluxes from peatlands converted to agriculture. *Science of the Total Environment* 584–585, 665–672.
- Norberg L., Berglund Ö. och Berglund K. (2016) Seasonal CO<sub>2</sub> emission under different cropping systems on Histosols in southern Sweden. *Geoderma Regional* 7, 338–345.
- Poeplau C., Aronsson H., Myrbeck Å. och Kätterer T. (2015a) Effect of perennial ryegrass cover crop on soil organic carbon stocks in southern Sweden. *Geoderma Regional* 4, 126–133.
- Poeplau C., Bolinder M.A., Eriksson J., Lundblad M. och Kätterer T. (2015b) Positive trends in organic carbon storage in Swedish agricultural soils due to unexpected socio-economic drivers. *Biogeosciences* 12, 3241–3251.
- Xiong S. och Kätterer T. (2010) Carbon-allocation dynamics in reed canary grass as affected by soil type and fertilization rates in northern Sweden. *Acta Agriculturae Scandinavica. Section B, Soil and Plant Science* 60, 24–32.