Beskrivelse af klimaeffekter ved dyrkningssystemet conservation agriculture (CA)

v. faglig medarbejder Annette V. Vestergaard, FRDK

Jordens indhold af kulstof i dansk mineraljord udgør 348 mio. tons C (Munkholm, 2021), svarende til 1,275 mia. ton CO_2-eq. Reduktionsmålene udgør 23 mio. tons CO_2-eq årligt, målt på en udledning i 1990 på 44 mio. tons- mod et mål om en årlig udledning på 21 mio. tons i 2030. Det betyder, at tiltag som kan

begrænse kulstoftabet eller øge kulstofindlejringen i landbrugsjorden, vil være af stor betydning for klimaaftrykket.

I takt med stigende ønske om større anvendelse af halm til energiformål (biogas- eller pyrolyseanlæg, jf. Landbrugsaftalen), sammen med en faldende husdyrproduktion, er der behov for at sætte fokus på at opbygge jordens kulstofindhold og at minimere tabet af kulstof i landbrugsjorden, både af klimahensyn og af hensyn til opretholdelse af jordens funktioner.

Dette skriv er udarbejdet ved Foreningen for Reduceret jordbearbejdning i Danmark (FRDK) og har til formål at samle op på klimaeffekter af CA-dyrkning i forhold til traditionel dyrkning og omhandler således effekter på kulstofindholdet i jorden, effekter på lattergasudledningen og effekt af lavere brændstofforbrug.

Resume

Ud fra anvendte kilder på klimaeffekter af CA, viser et beregningseksempel en klimaeffekt på 2 t CO_2 eq/ha årligt, sammenlignet med traditionel dyrkning. Dette er uden indregnet effekt af kulstoflagring ved halmnedmulding. Effekten udgør en beregnet gennemsnitseffekt af min. 0,6 t CO_2 eq/ha årligt og maks. 3,6 t CO_2 eq/ha årligt. Det betyder et stort klimapotentiale for dyrkningssystemet på landsplan. Implementeres CA f.eks. på 2/3 af korn- og rapsarealet, er klimaeffekten ca. 2 mio. t CO_2 eq årligt.

Fordelen ved CA som klimavirkemiddel er, at det ikke kræver udvikling af ny, dyr teknologi, og at det har effekt fra dag 1.

I tillæg hertil, er der en række positive effekter på markjordens sundhed, diversitet, insekter, fugle og dyr, det minimerer risikoen for vand- og vinderosion og dermed risikoen for næringsstof- og partikeltab. Jordsundhedsfremmende tiltag er i fokus i EU, bla. i kommissionens EU soil strategy for 2030

Intro

Dyrkningssystemet CA bygger på tre grundsten: Minimal jordbearbejdning, dyrkningsjorden permanent tildækket med planterester eller levende planter og alsidigt afgrødevalg med høj andel af efterafgrøder (afgrøde dyrket efter hovedafgrøden er høstet). Fordelene er mange:

Minimal jordbearbejdning: Der er signifikant lavere brændstofforbrug, bedre jordstruktur, mindre erosion og derved tab/nedbrydning af dyrkningsjord og næringsstoffer, mindre forstyrrelse af- og skade på jordboende organismer. Idet jorden ikke bearbejdes, stimuleres omsætningen af planterester i mindre grad, hvorved nedbrydningen reduceres.

Permanent jorddække: Ved at sikre at der altid er enten levende planter eller store mængder planterester på dyrkningsfladen sker der en akkumulering af organisk materiale i overjorden. Dette medfører at jorden bedre holder på vand og næringsstoffer, det sikrer bedre luftskifte i jorden og gør dyrkningsjorden til en bedre biotop for insekter og fugle

Sædskifte og efterafgrøder: Medfører en større diversitet over og under jorden. Rødder af forskellige arter sikrer effektiv næringsstofudnyttelse, god jordstruktur. Dertil bidrager det til stor biomasseproduktion der fungerer som kulstofinput til jorden.

Ovenstående giver en række positive effekter på biodiversitet, miljø og klima, som er vanskelige at dokumentere, da effektstørrelsen afhænger af udgangspunktet, dvs. jordtype, dyrkningshistorie, geologi og geografi. Som udgangspunkt kan man sige, at des mere biomasse der tilgår jorden, des større opbygning af kulstof – og jo mindre jorden forstyrres ved jordbearbejdning, des lavere omsætningstab.

Videnskabelig dokumentation for CA-effekter er særdeles vanskelig, idet dyrkningssystemet er multifaktorielt, men ikke desto mindre har der været lavet en del videnskabeligt arbejde på området internationalt, ligesom der i Danmark er lovende igangværende forskningsprojekter. Men den videnskabelige litteratur er stadig mangelfuld og bekræfter en del videnshuller på området. Den eksisterende litteratur udgøres ofte af forskningsresultater af enkeltparametre og dermed ikke dyrkningssystemet i sin helhed.

I 2020 udarbejdede Aarhus Universitet DCA rapport nr. 177: Videnssyntese om conservation agriculture, for Miljø- og Fødevareministeriet (Munkholm et al., 2020). Formålet var bla. at samle tilgængelig viden om CA og at fremstille en oversigt over klima- og miljøeffekter af CA med tydelig indikation af, hvilken retning effekterne peger. Der er taget udgangspunkt i litteratur fra Danmark og sammenlignelige lande.

I det følgende angives kilder på forventede klima effekter ved CA. Der lægges i høj grad vægt på Videnssyntesen om CA.

Kulstoflagring i jord

Der er meget stor variation i jordens indhold af kulstof i Danmark. Der opstår en kulstofligevægt i jorden over tid ved et givent dyrkningssystem, der ved ændringer kan føre til tab eller opbygning af kulstof i jorden. Mål om begrænsning af tabet er dermed et lige så vigtigt fokusområde, som mål om øget indlejring. Reduktion af tab er således i fokus ved dyrkning af organiske jorder, men er også relevant for jorder med højt humusindhold (3,5-6 pct.)

Videnssyntesen behandler effekten af CA ved at beskrive en forventet effekt af enkelttiltag, dvs. af hhv. minimal/ingen jordbearbejdning, brug af sædskifte, efterafgrøder og halm. Derved angives *ikke* en effekt af det samlede CA-dyrkningssystem hvor alle parametre indgår. Det skyldes, at der ikke er gennemført forsøg med CA-dyrkning med måling af kulstoflagringen.

Syntesen angiver en lille og variabel effekt af direkte såning på kulstoflagringen. Der refereres til en del forsøg og analyser af effekter af reduceret jordbearbejdning, som dog adskiller sig fra direkte såning – og i særdeleshed adskiller sig fra det samlede CA-dyrkningssystem, idet jorden bliver bearbejdet og omsætningen af organisk materiale derfor stimuleres.

Der henvises til en metaanalyse som viser usikker effekt af direkte såning i våde, nordlige klimazoner. Der refereres til to langvarige danske forsøg (CENTS), som viser tendens til hhv. et *mindre tab* af kulstof ved direkte såning (svarende til 400 kg C pr. ha årligt) sammenlignet med pløjning i Foulum på jord med middelhøjt C-indhold. Jo højere jordens kulstofindhold er, des højere omsætningsrate og des sværere er det at opbygge yderligere kulstof. Samtidig øges risikoen for tab af kulstof ved intensiv jordbearbejdning og ved dyrkning af afgrøder med lav tilførsel af biomasse. Jordbearbejdning tilfører ilt og substrat til jordens mikroorganismer, som sammen med en øget jordtemperatur øger omsætningen af det organiske materiale.

Det mindre tab ved direkte såning kan således skyldes en lavere omsætningshastighed når jorden ikke opblandes.

Det andet CENTS-forsøg er beliggende på Flakkebjerg med lavt kulstofindhold og viser en tendens til øgning af kulstofindholdet ved direkte såning, svarende til en effekt på gennemsnitligt 200 kg C/ha årligt.

Der refereres til en positiv effekt af halmnedmulding på 200-300 kg C/ha årligt og en effekt af efterafgrøder fra virkemiddelkataloget på 270 kg C/ha årligt.

Dvs. at CA ser ud til at have mindst den samme effekt på kulstofindlejringen i jorden som efterafgrøder, der anerkendes som klimavirkemiddel.

Samlet konkluderer Vidensyntesen, at CA øger kulstofindholdet i jorden.

Øvrig litteratur

Munkholm og Petersen (2007) angiver en vifte af virkemidler til indlejring af kulstof i jorden, herunder sædskifte, efterafgrøder, halm og mindre jordbearbejdning. Alle elementer der indgår i CA dyrkningssystemet.

Resultater af Kvadratnetsundersøgelsen fra 1986 til 2009 (ca. 400 Kv.netspunkter i 7-km grid fordelt over Danmark) viser en signifikant positiv effekt af halmnedmulding fra vintersæd svarende til 400 kg C/ha årligt, en gennemsnitlig – ikke signifikant negativ effekt af pløjning på 110 kg C/ha årligt i 0-100 cm's dybde og en gennemsnitlig og ikke signifikant positiv effekt af efterafgrøder på 110 kg C/ha årligt (Thaghizadeh-Toosi et al., 2014).

De langvarige forsøg ved Rothamsted, UK, viser at efter 22 år med nedmulding af gennemsnitligt 4,5 ton halm årligt, har øget jordens kulstofindhold med 130 kg C/ha årligt (Powlson et al, 2018)

Valkama et al. (2020) har modelberegnet kulstoflagringspotentialet ved traditionel dyrkning, direkte såning, CA og CA + italiensk rajgræs som efterafgrøde for 3 lokaliteter i Finland, Italien og Kazakhstan, som viser at direkte såning, CA og CA+ har positiv effekt på kulstoflagringen på kort sigt og at CA+ har positiv effekt på lang sigt. Anvendt model: ARMOSA

Et studie fra Iowa med majs og sojabønner og forskellige grader af jordbearbejdningsintensitet viser, at jordens indhold af organisk kulstof var signifikant højere i 0-15 cm ved direkte såning, sammenlignet med et pløjet system efter 3 års forsøg. Resultaterne underbygges af målinger af CO_2-jordrespirationer i 3 uger efter etablering, som viser signifikant størst tab efter pløjning. Forfatterne konkluderer at direkte såning og afgrøderester er effektive til at reducere CO_2-tab og øge kulstoflagring i et majs/sojabønne sædskifte (Al-Kaisi and Yin, 2005)

West and Post (2002) angiver et kulstoflagringspotentiale af dyrkningssystemer uden jordbearbejdning på Verdensplan til 570 +/- 140 kg C/ha årligt, (svarende til 2,1 +/-0,5 t CO_2eq/ha årligt)

Forventet effekt af CA målt på kulstoflagring:

Effekt af direkte såning: Opbygning eller reduceret C-tab, svarende til en effekt på 0,1 – 0,4 t C/ha/år eller 0,37-1,48 t CO_2eq/ha/år. På jorde med højt kulstofindhold i forvejen, er effekten et reduceret tab og på jorder med lavt kulstofindhold er effekten en opbygning

Effekt af halmnedmulding: Opbygning af 0,2-0,3 t C/ha/år eller 0,74 – 1,1 t CO_2eq/ha/år

Effekt af efterafgrøder: Opbygning af 0,27 t C/ha/år eller 1 t CO_2eq/ha/år. 'Netto CA-effekt' afhænger af efterafgrødekrav i dag.

Lattergasudledning

Udledning af lattergas forekommer ved omsætning af organisk materiale under iltfattige forhold. Vidensyntesen referer at der er få undersøgelse af lattergasudledning fra forskellige dyrkningssystemer, men refererer til 4 studier ved danske forhold, hvor tabet af lattergas var størst i pløjet >reduceret jordbearbejdning>direkte såning, især ved forekomst af planterester. Et studie viste at tabet af lattergas var hhv. 3,9, 3,0 og 2,2 kg N_2O/ha for henholdsvis pløjet, reduceret jordbearbejdning og direkte såning fra september til maj i et sædskifte med en olieræddike-efterafgrøde forud for vårbyg. De fundne forskelle kan relateres til forbrug og tilgængelighed af ilt i forhold til omsætning af planterester. Ved direkte såning ligger planteresterne på overfladen med stor tilgængelighed af ilt.

Endelig refereres til en metaanalyse som viser, at udledningen af lattergas er mindre i et varieret sædskifte end ved ensidig dyrkning.

Varieret sædskifte er en grundsten i CA.

Omregnes forskellen i lattergastabet fra pløjet til direkte såning i ovenstående forsøg, svarer 1,7 kg N_2O/ha til 0,42 t CO_2 eq/ha/år (faktor 247, jf. IPPC ARS, 2013, GWP10, IPPC's 4. og 5. vurderingsrapport)

I Vidensyntesens samlede konklusionsafsnit angives at effekten er usikker og kan gå begge veje, idet det kan føre til lattergastab såfremt jordstrukturen i 'omlægningsperioden' bliver så kompakt, at iltfrie forhold kan opstå og dermed føre til lattergastab ved omsætning af planterester.

I takt med at en porøs overjord dannes med mange afgrøderester, mindskes risikoen for iltfrie forhold

Øvrig litteratur

Forsøg med måling af jordrespiration og lattergas i forsøg ved Foulum i vinterraps og vinterhvede med hhv. pløjning, reduceret jordbearbejdning og direkte såning viste, at lattergasudledningen i vinterraps om efteråret var signifikant lavest ved direkte såning, men at denne forskel udlignedes i målinger i det følgende forår. I vinterhveden viste efterfølgende lattergasmålinger signifikant lavere lattergasudledning ved direkte såning, sammenlignet med pløjning, både efterår og forår.

Dyrknings- og måleresultater fra forsøget blev indtastet i FASSETmodellen som viste, at reduceret jordbearbejdning og direkte såning reducerede drivhusgasudledningen med hhv. 0,56 og 1,84 t CO_2eq/ha årligt, sammenlignet med pløjet system (Chatskikh et al., 2008)

Forsøg med målinger af lattergasemissionen i langvarigt forsøg ved Foulum, med måling af effekter af pløjning, direkte såning med tandskær, halm og efterafgrøder i 2019 viste, at

- direkte såning reducerede lattergasudledningen med 46%, sammenlignet med pløjning. Studiet viser også, at
- fjernelse af halmen gav ved beregning en nettoudledning af drivhusgasser uanset jordbearbejdning (inkl. C-lagringseffekt), og at
- efterladt halm ikke gav øget lattergasudledning. Endelig viste studiet et
- Lattergastab ved sløjfning af efterafgrøder, som gav negativ klimabalance af efterafgrøden (men stor positiv effekt på N-udvaskning)

Fra det pløjede system uden halmnedmulding og uden efterafgrøder til direkte såning, med halmnedmulding og efterafgrøder blev en forskel i klimabelastningen beregnet til godt 4 t CO_2eq/ha årligt. Forfatterne konkluderer at direkte såning, tilbageholdelse af halm og brug af efterafgrøder har positiv effekt på kvælstofretentionen og drivhusgasbalancen og kan forbedre klimaaftrykket ved dyrkning af afgrøder på sandjord i et tempereret vådt klima. (Taghizadeh-Toosi et al., 2022)

Forventet klimaeffekt af CA, målt på lattergas

Effekt af direkte såning: 0 - 1,84 t CO_2eq/ha årligt.

Jo flere år med CA, des bedre jordstruktur og ilttilgang – og dermed mindre lattergastab

Udledning af CO_2 fra brændstofforbrug

Vidensyntesen angiver en effekt af brændstofbesparelse ved CA, svarende til 0,1 t CO_2eq/ha årligt

Idet pløjning er den mest energikrævende proces i markarbejdet, er der en direkte årlig klimaeffekt af det nedsatte brændstofforbrug. På svær lerjord eller i bakket terræn, kan effekten være større.

Samlet effekt

Taghizadeh-Toosi et al., (2022) beregnede en forskel i klimabelastningen mellem et pløjet system *uden* halmnedmulding og efterafgrøder til et CA-system med direkte såning, efterafgrøder og halmnedmulding til en klimaeffekt på 4 t CO_2eq/ha årligt. Idet der er lovpligtige efterafgrøder og delvis halmnedmulding i begge systemer, vil denne effekt givetvis ikke svare til sammenligning mellem et traditionelt dyrkningssystem og CA.

I nedenstående eksempel er der beregnet en effekt, ud fra gennemsnitsværdier af ovenstående forventede klimaeffekter af CA. Det er forudsat, at der anvendes direkte såning på hele arealet og at der ved CA-dyrkning er 15 pct. af det samlede areal, som indeholder frivillige efterafgrøder. Dette under antagelse af, at vårsædsandelen udgør 30-40 pct. og at godt halvdelen af dette areal er dækket af lovpligtige efterafgrøder, svarende til efterafgrødearealet ved traditionel dyrkning. Effekten af lattergasreduktionen er sat til det halve af beregningen i FASSET (Chatskikh et al., 2008). Anvendes al halmen til energiformål jf. Landbrugsaftalen, bliver den samlede effekt på 2,1 t CO_2eq/ha årligt. Hvis halvdelen af landbrugsarealet blev dyrket efter CA-principperne, ville det betyde en klimaeffekt svarende til 4,45 mio. t CO_2eq årligt. Regnes der kun på halvdelen af arealet med korn og raps (i alt ca. 750.000 ha) er effekten 1,57 mio. t CO_2eq årligt. Hvis der bortføres halm på halvdelen af ejendommens arealer, bliver den samlede effekt 2,6 t CO_2eq/ha årligt, svarende til en klimaeffekt på halvdelen af korn og rapsarealet til 1,9 mio. t CO_2eq årligt.

Tabel 1 Beregningseksempel på klimaeffekt af CA i forhold til traditionel dyrkning og +/- nedmulding af halm fra halvdelen af omdriftsarealet. Gennemsnitseffekter fra ovenstående litteratur.

Effekt af	**t CO_2 eq/ha/år**	**% af arealet**	**Samlet effekt, t CO_2 eq/ha/år**
Direkte såning, C-lagring/reduktion af tab	0,93	100,00	0,93
Efterafgrøder, C-lagring (frivillige)	1,00	15	0,15
lattergasreduktion ved direkte såning	0,92	100	0,92
Brændstofbesparelse	0,10	100	0,10
Effekt uden halmnedmulding			**2,10**
Halmnedmuldning	0,92	50	0,46
Effekt med halmnedmulding			**2,56**

De laveste og højeste effekter kan bruges til at illustrere spændet og kan ses i tabel 2. Der er anvendt samme forudsætninger som i tabel 1.

Tabel 2 Beregnede klimaeffekter af CA ved hhv. laveste og højeste efter fra foregående litteratur

Effekt af	**Laveste effekt, t CO_2 eq/ha/år**	**Højeste effekt, t CO_2 eq/ha/år**
Direkte såning, C-lagring/reduktion af tab	0,37	1,48
Efterafgrøder, C-lagring	1,00	1,00
lattergasreduktion ved direkte såning	0,00	1,84
Brændstofbesparelse	0,10	0,10
Effekt uden halmnedmulding	**0,62**	**3,57**
Halmnedmuldning	0,74	1,1
Effekt med halmnedmulding	**0,99**	**4,12**

Referentens kommentarer

Der pågår mange aktiviteter på EU-plan, som har fokus på forbedring af jordsundheden, som skal beskytte og genopbygge jorden og sikre en bæredygtig anvendelse. Fordelene ved CA-dyrkningssystemet taler ind i denne dagsorden og tillagt en positiv klimaeffekt, er der stort potentiale i at motivere til denne dyrkningsform.

Effekten af CA i forhold til opbygning af kulstof i jorden, anfægtes til tider ud fra argumentet om, at effekten er fhv. kortsigtet, idet der over tid (årtier) opstår en ny ligevægt for kulstofindholdet i jorden, hvorefter der ikke oplagres yderligere. Her er det vigtigt at pointere, at en klimaeffekt både skal øge indlejringen, men også reducere tabsrisikoen.

En fortsættelse af CA-dyrkningen vil således bibeholde det øgede kulstofindhold, mens efterfølgende intensiv jordbearbejdning vil øge respirationstabet og føre til et lavere kulstofindhold ved ny ligevægt. Desuden bemærkes det, at mange danske jorder, specielt i Østdanmark har et lavt indhold af kulstof i dag – og dermed et stort potentiale for indlejring.

Når der ikke jordbearbejdes og tilføres mere biomasse til jorden, stiger bestanden af regnorme, ikke mindst de store, dybdegående orme, som spiller en væsentlig rolle for den gode jordstruktur. Det er videnskabeligt dokumenteret og målt, også i dansk, langvarigt forsøg (Krog og Qin, 2018). Dybe regnormegange er med til at sikre dyb rodvækst, og dermed kulstoflagringen i dybden. Idet kulstofindholdet i jorden falder ned gennem profilen, er det dog meget svært at måle signifikante C-ændringer i dybden.

Besparelsen i brændstofforbruget udgør en årlig sikker klimaeffekt.

Fokus på anvendelse af halm og efterafgrøder: Der er lagt op til at halm i højere grad skal anvendes til energiformål, feks. til biogas eller pyrolyse. Det betyder en nettofjernelse af kulstof fra markerne. I CA-dyrkningssystemet er der 'plads' til denne fjernelse, idet sædskifte og efterafgrøder sikrer en høj tilførsel af biomasse til markerne. Dermed kan CA bidrage til at sikre, at opfyldelse af Landbrugsaftalen ikke forringer jordens indhold af kulstof.

Efterafgrøder som anvendes i CA-dyrkning har høj prioritet hos landmanden og består ofte af flere arter, som sikrer en høj biomasseproduktion, både over og under jorden. Det er derfor sandsynligt, at effekten af efterafgrøderne er undervurderet.

Med stigende indhold af organisk materiale i jorden og brug af flere arter i sædskiftet, opbygges en næringsstofpulje, som mindsker afhængigheden af tilført gødning. I praksis betyder det, at der kan spares på mineralsk gødning, som er blandt de 'tunge' poster i klimaregnskabet.

Jorder, som ikke bearbejdes og har stigende indhold af organisk materiale, er mere robuste overfor vejrekstremer. Afgrøderester skærmer for solen og øger også infiltrationen af vand, ligesom de store regnormegange. Derfor kan jorden i CA-dyrkningssystemet bedre afbøde negative effekter af klimaforandringerne, end det traditionelle dyrkningssystem.

Det anfægtes til tider, at 'hvis CA-dyrkningssystemet er så godt, behøver det vel ikke at blive økonomisk tilgodeset'. Dertil må svares, at CA er en investering i et nyt dyrkningssystem, som dels kan kræve nyt maskineri, men som også kan kræve lærepenge, idet den forbedrede jordstruktur udvikler sig over tid og CA-dyrkning kræver øget fokus på rettidighed, især i fht. at opnå en god etablering og en god

ukrudtskontrol. Det kan koste udbytte i en overgangsperiode. Langvarige forsøg viser at udbytterne udlignes over tid (Petersen, J.B., 2019)

Henvisninger:

Al-Kaise M. M. and Yin X., (2005): Tillage and Crop Residue Effects on Soil Carbon and Carbon Dioxide Emission in Corn-Soybean Rotations. Journ. Environ. Qual. 34:437-445.

Chatskikh D., Olesen J. E., hansen E. M., Elsgaard L., Petersen B. M., 2008: Effects of reduced tillage on net greenhouse gas fluxes from loamy sand soil under winter crops in Denmark. Agr., Ecos. Envir. 128, 117-126

IPPC, AR5. Rapport 2014: https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/

Krogh P. H. and Qin J., 2018: Effect of reduced tillage and conservation agriculture systems on earthworm and microarthropod populations assessed by conventional methods and by metabarcoding, Publikation: Bog/antologi/afhandling/rapport › Rapport › Forskning, Institut for Ecoscience – Jordfaunaøkologi og økotoksikologi, AU

Munkholm L.J., 2021: Præsentation ved CA-workshop 2021, tal fra Kvadratnetsundersøgelsen ((Taghizadeh-Toosi et al.) 2014, Nielsen et al, 2021) og Dks Statistik

Munkholm, L. J., Hansen E. M., Melander, Kudsk P., Jørgensen L. N., Heckrath G. J., Ravnskov S. og Axelsen J. A. (2020) Vidensyntese om conservation agriculture. DCA-rapport nr 177, Århus Universitet, Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug

Munkholm L. J og Petersen B. M, 2007: Hvor meget kulstof kan vi binde i jorden ved at ændre dyrkningspraksis? Jordbrugsproduktion og Miljø, DJF. PP https://slideplayer.dk/slide/1878771/

Petersen J.B, 2019: Oversigt over Landsforsøgene 2019, pp. 231-235: De langvarige jordbearbejdningsforsøg, v. Vestergaard, A.V.

Powlson, D. S., Poulton P. R. MacDonald A. J., White R. P. and Goulding W. T (2018) 4 per mille: Is it feasible to sequester Soil Carbon at this Rate Annually in Agricultural Soils? IFS. No 823, ISBN 978-0-85310-460-5

Taghizadeh-Toosi A., Hansen E. M., Olesen J. E. Baral K. R. and Petersen S. O. (2022) Interactive effects of straw management, tillage and a cover crop on nitrous oxide emissions and nitrate leaching from sandy loam soil. Sci.Tot.Environm. 828, 2022, 154316

Taghizadeh-Toosi A., Olesen J. O., Kristensen K., Elsgaard L., Østergaard H. S., Lægdsmand M. H., Greve H. Christensen B.T. (2014) Changes in carbon stocks of Danish agricultural mineral soils between 1986 and 2009. Europ.Journ.Soil Science, vol. 65 issue 5, pp 730-740.

Valkama E. et al (2020) Can conservation agriculture increase soil carbon sequestration? A modeling approach. Geoderma, vol. 369, June 2020, 114298

West T. O. and Post W. M. (2002): Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation; A global data analysis. Soil sci.Soc.Am.J. 66.