

Slutredovisning av projektet "Inverkan av jordbearbetning på markens biologiska aktivitet, kväve mineralisering och mullbalans"

Thomas Kätterer, Veera Kainiemi och Holger Kirchmann

Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för mark och miljö

Bakgrund

Frågetecknen kring jordbearbetning och mullbalansen är högst relevanta ur bördighets-, uthållighets- och klimatperspektiv. Jordbearbetning påverkar många processer i mark/växsystemet, såsom cirkulationen och tillgängligheten av växtnäring, förekomst av ogräs och skadegörare, markens struktur och stabilitet, infiltration av vatten med mera. Nedbrytningshastighet av det organiska materialet, kväve mineralisering och utlakning har i flera studier visats att öka med intensiteten av en bearbetning (La Scala m. fl., 2005; Reicosky and Archer, 2007; Chatskikh m. fl., 2008; Askegaard m. fl., 2011). Tidpunkten för bearbetning kan också ha betydelse framförallt för kvävedynamiken. Svenska studier har visat att en senareläggning av plöjning på hösten eller en uppskjutning till våren kan minska utlakningen av kväve i både lättare och tyngre jordar (Myrbeck m. fl., 2003; Stenberg m.fl., 1999). En senareläggning av jordbearbetning kan dock leda till lägre skördar och effekten som den har på mineralkvävedynamiken kan bero på andra faktorer än jordbearbetningen i sig, såsom tidpunkter för sådd och ogräsbekämpning, fånggrödor och vädret under höst och vinter (Myrbeck m.fl., 2012a,b).

I ett längre tidsperspektiv leder reducerat jordbearbetning ofta men inte alltid till högre mullhalter (Angers m.fl., 1995; Comia m.fl., 1994; Paustian m.fl., 1995; Yang & Wander, 1999; Six m.fl., 2004; VandenBygaart m.fl., 2003) och därmed till inlagring av kol och växtnäring. Orsaken till ökningen anses vara att det organiska materialet skyddas fysiskt från nedbrytande markorganismer eftersom aggregeringen är starkare i icke plöjda jordar (Franzluebbers & Arshad, 1996). Ökad mikrobiell tillgänglighet av skörderester nämns ofta som huvudorsak till att ökad bearbetningsintensitet leder till lägre mullhalter (Elliot, 1986; Waters & Oades, 1991; Angers, 1998; Schjønning et al. 2006), medan en mera humifierad fraktion kan vara huvudorsaken under vissa förhållanden (Yang & Kay, 2001).

I en undersökning med svenska jordar kunde man inte påvisa någon signifikant stimulering av den biologiska aktiviteten av mekanisk energitillförsel under kontrollerade förhållanden motsvarande den från en vanlig jordbearbetning (Dexter m.fl., 2000). Effekten av jordbearbetning kan vara huvudsakligen indirekt och variera med jordart och klimat och har i en kanadensisk studie visats vara större i ett torrare klimat, jämfört med fuktigare förhållanden (VandenBygaart m.fl., 2003). Hur jordbearbetningen påverkar grödornas rotutveckling och framförallt hur den påverkar avkastningen verkar också ha mycket stor betydelse för effekten på markens kolförråd (Ogle m.fl., 2012)

I fält är det många processer som påverkar omsättningen av det organiska materialet. En mekanisk omblandning av partiklar och aggregat påverkar uttorkning/återfuktning samt frysning/tining, processer som påskyndar omsättningen under i övrigt lika förhållanden. Processerna bakom en ökat nettomineralisering av kväve vid frysning/tining har kvantifierats tidigare under svenska förhållanden (Herrmann & Witter, 2002). Förståelsen av vad som händer vid mekaniskt påverkan av jord är dock mycket sämre.

Olika jordbearbetningsmetoder påverkar omsättningen också genom att skörderesterna fördelas mer eller mindre homogent i ett visst djup i marken som därmed utsätts för varierande nedbrytningsförhållanden. Vattenhalt och temperatur är de två viktigaste

reglerande faktorer för omsättningshastigheten av organiskt material (Kätterer & Andrén, 2001). Eftersom både vattenhalts- och temperaturprofiler påverkas av jordbearbetning, kan man i fältförsök inte hålla isär bearbetningens omblandningseffekt och fördelningen av skörderester i olika djup från den indirekta påverkan av förändrade vatten- och temperaturförhållanden genom omblandning. Vi vill renodla direkt och indirekta effekter av jordbearbetning på omsättningen av organiskt material i laboratoriet för att öka vår förståelse. Försök genomförde under kontrollerade förhållanden är nödvändiga för att separera faktorerna som påverkas av en bearbetning. Det finns dock inte några standardmetoder för att simulera jordbearbetning i labbskala. Sållar, mortlar, mixer och krossning för hand eller med olika maskiner har använts i olika studier (se artiklar citerade i Kainiemi m.fl. 2012)

Syftet

Syftet med detta projekt var att kartlägga orsakerna till varför och i vilken utsträckning omsättningshastigheten av det organiska materialet påverkas direkt av mekanisk bearbetning (främst krossning av aggregat) och indirekt via ändringar av porvolymen och därmed påverkan av vattenhalt, torkning och återfuktning. Olika metoder för simuleringar av jordbearbetning under kontrollerade förhållanden har testats.

Hypoteser

- 1) En mekanisk blandning av jord möjliggör att mikroorganismer kan komma i kontakt med nytt substrat som annars är otillgänglig på kort sikt. Detta leder till ökat nedbrytning.
- 2) Jordbearbetningens effekt på kol- och kväveminaliseringen beror på vattenhalten vid bearbetningstillfället. Både en minskning och ökning av mikrobiell aktivitet kan ske beroende på ändringen av vattentillgängligheten efter bearbetning.
- 3) En uttorkning och återfuktning av jord påverkar lösligheten av det organiska materialet, dvs. fraktionen som kallas för löst organiskt kol. Genom en omblandning förändras vattenhalten, som innebär ändrade tork- och återfuktningförhållanden. Genom tork- och återfuktning frigörs mer löst organiskt kol än vid konstanta fuktförhållanden. Detta har visat sig vara fallet före en kemisk extraktion av organiska miljöföroreningar, där lösligheten ökar genom tork- och återfuktningscykel (Guggenberger m.fl., 1996). Detta innebär att mikroorganismer kan få tillgång till mer löst substrat som stimulerar deras aktivitet och kväveminaliseringen.

Material och metoder

Fyra studier genomfördes för att testa hypoteserna enligt ovan.

Studie 1:

Syftet med denne studie var att testa effekten av torkning och återuppfuktning samt av bearbetning vid olika vattenhalter och med olika intensiteter i fuktig eller torrt tillstånd.

Jordproverna togs från ”Ängen”, ett skifte på Kungsängens gård, Uppsala, och ”Pustnäs” söder om Nántuna, Uppsala. Dessa platser är ängs-/betesmarker som högst sannolikt inte har jordbearbetats under de senaste 30 åren. Grässvålen togs bort med spade på en yta på ungefär en kvadratmeter. Ytan jämnades till på ca 10-15 cm djup. Ostörda jordprover togs ut med stålcyllindrar (5,0 cm i diameter och 3,8 cm höga) som trycktes ned i jorden. Cyllindrarna försågs med lock för att förhindra avdunstning. 5 cyllindrar togs i varje jord för vattenhaltsbestämning före inkubationen, och 4 slumpmässigt valda cyllindrar per behandling användes i försöket. Experimentet startades omedelbar efter provtagningen.

Lerjorden från Kungsängen har enligt tidigare undersökningar en lerhalt på cirka 50% (för mera information om jordegenskaper: Berglund m.fl., 1989; Kirchmann 1991). Sandjorden från Pustnäs innehåller bara ca. 2% ler och har beskrivits av Kirchmann (1985). Utifrån tidigare profilstudier har kolhalten för provtagningsdjupet i detta försök beräknats till 0,8 %C i sandjorden och 3,0 %C i lerjorden (Kätterer m.fl., 2008; Kainiemi m.fl., 2012).

Jorden inkuberades vid 20 °C i slutna plastburkar. Koldioxiden fångades upp med hydroxidfällor (0,5 M NaOH) som byttes ut vid varje mättillfälle. Koldioxiden i hydroxidfällorna fälldes med BaCl₂, till bariumkarbonat och överskottet titrerades med 0,1 M HCl till pH 7 och fenolftalein som färgindikator.

Experimentella behandlingar:

- A. Lerjord, ostörd i fältfuktigt tillstånd
- B. Lerjord, bearbetad (aggregaten < 4 mm stora) i fuktigt tillstånd
- C. Lerjord, ostörd torkad vid 40 °C och återuppfuktad till samma vattenhalt som i A och B.
- D. Lerjord, torkad vid 40 °C i ostört tillstånd, lätt bearbetad för hand i torrt tillstånd så att större aggregat fanns kvar efter bearbetningen (< 4 mm stora) och därefter återuppfuktad till samma gravimetriska vattenhalt som i A, B och C.
- E. Lerjord, torkad vid 40 °C i ostört tillstånd, finmald med mortel till nästan dammig konsistens och därefter återuppfuktad till samma gravimetriska vattenhalt som i A, B, C och D.
- F. Sandjord, ostörd i fältfuktigt tillstånd
- G. Sandjord, ostörd torkad vid 40 °C och återuppfuktad till samma vattenhalt som i F

Studie 2

Syftet med denne studie var att separera effekten av en mekanisk störning av jorden från den indirekta effekten av en förändrad vattenhalt efter bearbetning. Den volymetriska vattenhalten efter bearbetning hölls konstant i denna studie genom återpackning, uppfuktning eller torkning.

Jordprover togs i en lerjord utanför den meteorologiska stationen på Ultuna. Rutan där proverna togs har legat i grönträda (mest gräs) under fler decennier. Vegetationen slås av ibland men skörden har i regel in förts bort. Lerhalten i området ligger kring 40% och kolhalten, som bestämdes på platsen där proverna togs, var 3,1% (2 analyser). Provtagningsmetodik och analys var lika som beskrivet ovan i studie 1. Skillnaden jämfört med studie 1 är dock att alla prover inkuberades med en bestämd volym i stålcyllindrar.

Experimentella behandlingar:

- A. Ostörd jord i fältfuktigt tillstånd
- B. Bearbetad i fältfuktigt tillstånd för hand tills alla aggregat passerade en sikt (8 mm); återpackat till ursprunglig densitet; vattenmängd som i A.
- C. Som B men lätt återpackat till lägre densitet än B; vattenmängd som i A.
- D. Som C men samma andel vattenfylld porvolym som i A och B (vatten behövde tillsättas).
- E. Ostörd jord; samma andel vattenfylld porvolym som i C (behöver torkas).

Återpackningen i behandling C and D till en bestämd volym, bevattning i D och torkning i E ledde till olika kombinationer av skrymdensitet, vattenhalt och porvolym (Tabell 1).

Tabell 1. Skrymdensitet, vattenhalt och andel vattenfylld porvolym i behandlingarna.

Behandling	A, B	C	D	E
Skrymdensitet (g torr jord cm ⁻³)	1.21	0.77	0.77	1.21
Vattenhalt (g vatten g ⁻¹ torr jord)	0.33	0.33	0.67	0.16
Vattenhalt (g vatten cm ⁻³)	0.40	0.25	0.51	0.19
Vattenfylld porvolym (%)	73	36	73	36

Studie 3

Den tredje studien var en metodstudie (Kainiemi m.fl., 2012). Vi testade 2 olika metoder, en skakningsmaskin och en mixer, för att bearbeta jorden på laboratoriet med olika intensitet på ett upprepbart sätt, dvs. där den tillförde energin kan kvantifieras. Effekten på markandningen vid tre olika bearbetningslängder med mixer (5, 15 och 30 sekunder) och två tider med skakning (5 och 10 minuter) jämfördes med den i ostörd jord.

Jorden som användes kommer från Pustnäs (samma plats som studie 1). Jordprover togs i små stålcyllindrar (som ovan beskriven) på 3 olika djup: 3-6 cm, 9-12 cm and 22-25 cm. Jorden bearbetades i fältfuktigt tillstånd direkt efter provtagning och inkuberades vid 20 °C i en respirometer som kontinuerlig mäter koldioxidavgången (Respicond IV, Nordgren Innovations, Djäkneboda, Sweden). Inklusivt den ostörda kontrollen, var det 6 behandlingar för varje djup som studerades med 4 upprepningar var.

Studie 4

Syftet med denne studie var att testa effekten av en mekanisk bearbetning utförd vid olika vattenhalter på olika jordtyper.

Sex platser valdes ut för provtagning som skulle täcka in ett stort spann av textur, mullhalt och lantanvändning (Tab. 3). Provtagningen skedde som ovan beskriven i små stålcyllindrar. Vattenhalten i jordproven justerades på en sandbädd med undertryck motsvarande 10 cm respektive 100 cm vattenpelare (Tabl. 3).

Tabell 3. Egenskaper av de sex jordarna som användes i studie 4.

Jord	Användning	Skrym- densitet	Kol %	Ler %	Vattenhalt			
					g g ⁻¹ torr jord		g cm ⁻³	
					10 cm vp	100 cm vp	10 cm vp	100 cm vp
Pustnäs	Bete/vall	1.45	2	2	0.300	0.145	0.435	0.210
Met-in	Bete/vall	1.28	3.1	35	0.390	0.334	0.499	0.428
Met-ut	Jordbruk	1.22	2	35	0.446	0.362	0.544	0.441
Säby	Jordbruk	1.26	1.9	43	0.338	0.290	0.426	0.366
Umeå1	Jordbruk	1.24	4.8	18	0.412	0.403	0.511	0.500
Umea2	Bete/vall	1.68	1.7	13	0.223	0.209	0.374	0.350

Därefter bearbetades två tredjedelar av proven från varje plats med en mixer under 5 sekunder. En del av de bearbetade proven fylldes tillbaka till samma cylinder som användes för provtagning och packades ihop till samma volymvikt som de ostörda proven. Den andra delen fylldes i större cylinder och återpackades inte. Följaktligen hade vi 3 behandlingar för varje plats och vattenhalt:

- Ostörd jord
- Bearbetad jord utan packning
- Bearbetad jord med återpackning till samma volym som den ostörda jorden

Koldioxidproduktionen bestämdes kontinuerlig under cirka en vecka i en respirometer (se studie 3).

Resultat och diskussion

Studie 1

Vattenhalten i viktprocent beräknades till 25 % i lerjorden och 10 % i sandjorden. Jordens torra skrymdensitet som bestämdes i 25 och 17 cylindrar i ler- respektive sandjord var i medeltal 1,26 och 1,45 g cm⁻³.

Markandningen var ungefär tre gånger så hög i lerjorden jämfört med sandjorden, vilket speglar jordarnas skillnad i kol- och vattenhalt (Fig. 1). Vattenhalten (0.13 respektive 0.34 g cm⁻³) var något närmare den optimala vattenhalten för biologisk aktivitet i sand- än i lerjorden, 93 respektive 84% av optimum enligt Moyano m.fl. (2011). Markandningen i lerjorden var signifikant lägre i A och B jämfört med övriga behandlingar efter 3 och 6 dagar (Fig. 1). I sandjorden var markandningen i F signifikant lägre än i G efter 3, 6 och 9 dagar. Därefter fanns det inte några signifikanta effekter av behandling enligt en variansanalys. Torkning och återfuktning har visat sig ha markant påverkan på markandningen som var ungefär dubbelt så hög i ostörd ler- och sandjord som hade torkats och återfuktats (C och G) jämfört ostörd jord som hade inkuberats i fältfuktigt tillstånd utan torkning (A och F). Eftersom det inte fanns några skillnader i markandning varken mellan A och B eller mellan C, D och E, kan vi dra slutsatsen att bearbetning med olika intensiteter inte har lett till några signifikanta effekter. Alla behandlingsskillnader berodde enbart på torkningseffekten.

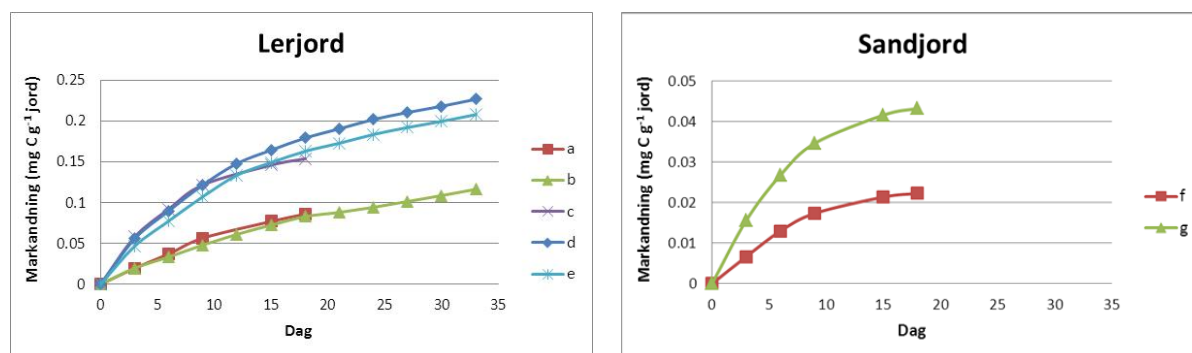


Fig. 1. Koldioxidavgång från behandlingarna A-G.

Studie 2

Markandningen var signifikant högre i D och lägre i E jämfört med de övriga behandlingarna A, B och C (Fig. 2). Andningen var något lägre i de ostörda proven (A) jämfört med bearbetade men skillnaderna mellan A, B och C var inte signifikanta.

Som studie 1 visade även denna att effekten på vatteneffekten var mycket större än bearbetningseffekten (Fig. 3). Markandningens korrelation var högre med den volymetriska än med den gravimetriska vattenhalten (Fig. 3). Detta visar att både vattenmängd och porositet påverkar markandningen. I praktiken skulle det innebära att jordbearbetningens effekt på nedbrytningen är huvudsakligen indirekt genom att den ökar porositeten. Om det regnar efter ett bearbetningstillfälle så kan marken hålla mera vatten pga. den större porositeten, vilket i sin tur stimulerar nedbrytningen.

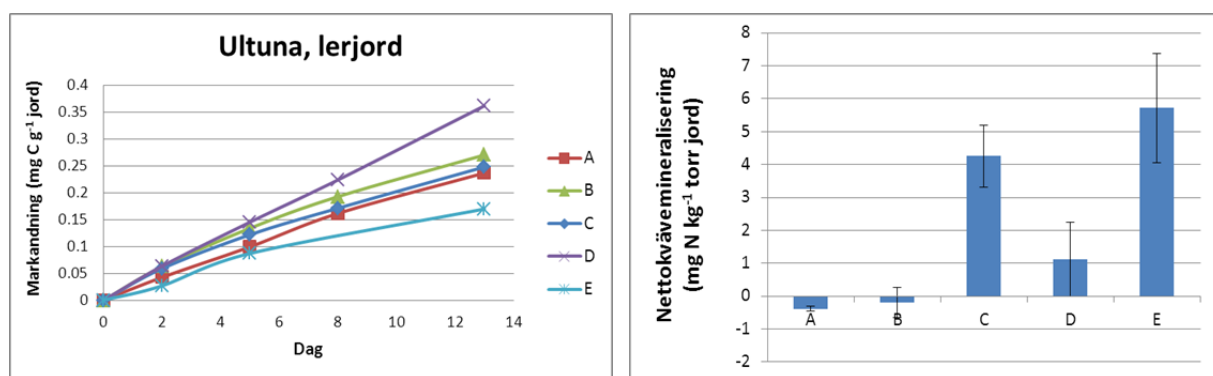


Fig. 2. Koldioxidavgång och nettokvävemineralisering under 13 dygn i behandlingarna A-E. Nettokvävemineraliseringen beräknades som skillnaden mellan mineralkväve vid start (n=6) och vid slutet av experimentet (n=4 för varje behandling).

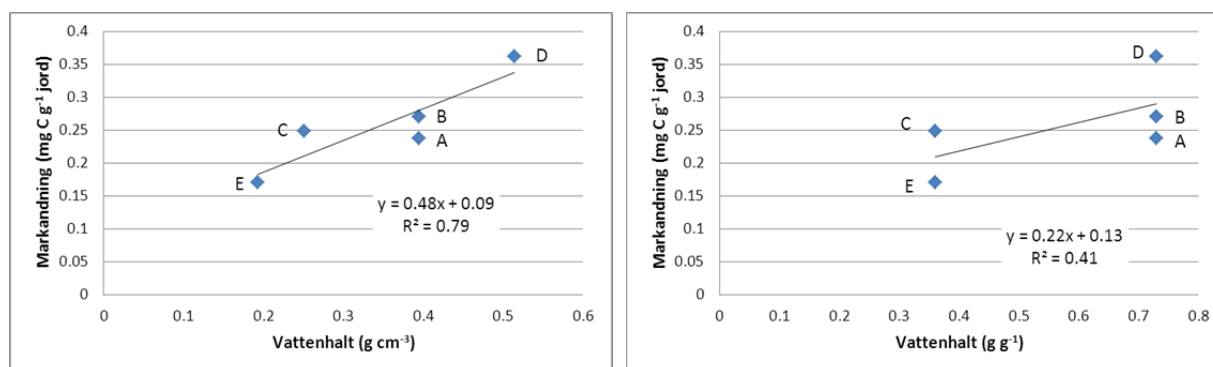


Fig. 3. Samband mellan den volymetriska (vänster) och gravimetriska (höger) vattenhalten i de olika behandlingarna A-E och den kumulativa markandningen under 13 dygn.

Mineralkvävemängderna i slutet av experimentet var signifikant högre i C och E jämfört med de övriga behandlingarna (Fig. 2). Skillnaderna mellan A, B och D var inte signifikanta. Nettokvävemineraliseringen under försöksperioden var negativ korrelerat med den volymetriska vattenhalten ($r=0.82$). Den lägre vattenhalten i C och E har förmodligen lett till en lägre tillväxt av mikroorganismer och därmed till en lägre immobilisering av kväve under försöksperioden.

Studie 3

Bearbetning med mixer under 5 sekunder hade störst effekt på kolmineraliseringen (Fig. 4). Denna behandling ledde till signifikant högre markandning under det första dygnet jämfört med den ostörda jorden. Mängden kol som mineraliserade extra under det första dygnet på grund av bearbetningen motsvarade 0.07% av det totala kolförrådet. Översatt till fältförhållanden skulle de motsvara en total kolförlust på några 10-tals kilo vilket är en nästan försumbar mängd.

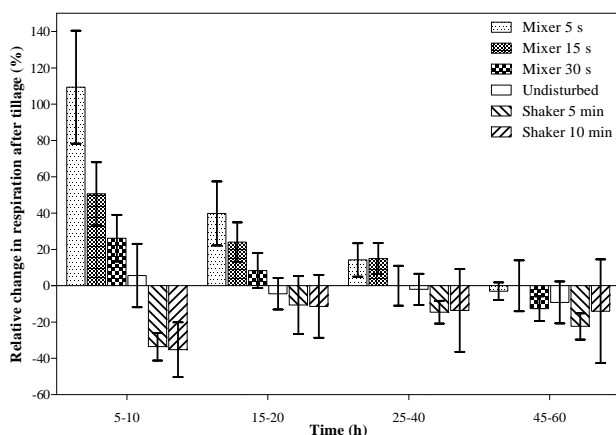


Fig. 4. Relativa förändringar i markandning efter behandling med mekaniska störningar som simulerar olika intensitet av jordbearbetning. Behandlingsskillnaderna var signifikanta under de första 20 timmarna efter behandling (Kainiemi m.fl., 2012).

Studie 4

I genomsnitt över platser och behandlingar var markandningen signifikant högre (14%) vid tensionen 10 cm vp än vid 100 cm vp. Markandningen påverkades signifikant av behandling och vattenhalt vid bearbetning under de första tre dyggen. I genomsnitt över alla sex jordarna och två vattenhalter var andningen signifikant högre i både de bearbetade leden jämfört med den ostörda jorden. Skillnaden var 3.2 mg C kg^{-1} torr jord, vilket motsvara ungefär $10 \text{ kg C per ha}^{-1}$. Med metoden som användes i denna studie var det alltså möjligt att detektera signifikanta effekter av bearbetningen som dock i ett praktiskt perspektiv är nästan försumbara.

Vi kommer att analysera även kvävemineralisering i denna studie som inte är avslutat ännu. Dessa resultat kommer att presenteras senare och kommer att ingå i Verra Kainiemis doktorsavhandling.

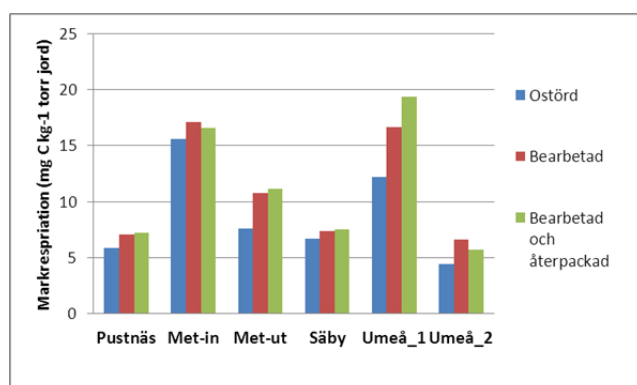


Fig. 5. Markrespiration i genomsnitt över båda vattentensionerna i de olika behandlingarna under det första dygnet. Respirationen var i genomsnitt över jordar och vattenhalter signifikant lägre i den ostörda jorden jämfört med den bearbetade. Återpackningen hade inte någon signifikant effekt.

Slutsatser

Resultaten från våra studier visar att en mycket intensiv bearbetning under kontrollerade förhållande leder till en mätbar ökning av markrespirationen. Effekten som direkt kan hänföras till en mekanisk sönderdelning av organiska partiklar eller till krossningen av aggregat och är dock liten i absoluta mått. Översatt till fältförhållanden borde denna effekt vara lägre än 10 kg C ha⁻¹ per bearbetning. Jordbearbetningens indirekta effekter orsakade av förändringar i porsystemet har dock mycket större påverkan på markandningen. Eftersom porstrukturen påverkar infiltration, vattenhållandeförmåga och upptorkningsförloppet så kommer en förändrad porvolym också att påverka markens vattendynamik som därmed styr markorganismernas aktivitet. Då bearbetningseffekten verkar vara främst en vatteneffekt så borde man kunna skatta den med hjälp av dynamiska modeller som drivs av meteorologiska data och hydrauliska markegenskaper. Motstridiga effekter av jordbearbetning på markens kolbalans som har rapporterats i litteraturen skulle därmed också kunna förklaras av skillnader i nederbörds mängd och nederbördsfördelning i olika klimatzoner. För att kunna skatta effekten under fältförhållanden i Sverige borde man analysera de långliggande jordbearbetningsförsöken med hjälp av dynamiska simuleringsmodeller.

Referenser

- Angers DA. 1998. Water-stable aggregation of Quebec silty clay soils: some factors controlling its dynamics. *Soil Tillage Res.* 47:91-96.
- Angers DA, Voroney RD and Côté D. 1995. Dynamics of soil organic matter and crop residues affected by tillage practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:1311-1315.
- Askegaard, M., Olesen, J.E., Rasmussen, I.A., Kristensen, K., 2011. Nitrate leaching from organic arable crop rotations is mostly determined by autumn field management. *Agric. Ecosyst. Environ.* 142: 149–160.
- Berglund K, Miller U, Persson J (1989) Gyttejordar, deras sammansättning och egenskaper (the composition and properties of gytta soils). Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Soil Sciences, Division of Agricultural Hydrotechnics, Report 160. In Swedish with English summary.
- 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. *Agric. Ecosyst. Environ.* 128: 117–126.
- Comia RA, Stenberg M, Nelson P, Rydberg T, Håkansson I. 1994. Soil and crop responses to different tillage systems. *Soil & Tillage Res.* 29:335-355.
- Dexter AR, Arvidsson J, Czyz EA, Trautner A and Stenberg B. 2000. Respiration rates of soil aggregates in relation to tillage and straw-management practices in the field. *Acta Agric. Scand. Sect B* 49:193-200.
- Elliot ET. 1986 Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:627-633.
- Franzluebbers AJ and Arshad MA. 1996. Soil organic matter pools with conventional and zero tillage in a cold, semiarid climate. *Soil Tillage Res.* 39:1-11.
- Guggenberger G, Pichler M and Zech W. 1996. Influence of samples pretreatment on the extractability of polycyclic aromatic hydrocarbons from forest floors. *Z. Pflanzenernährung Bodenkd.* 159:405-407.

- Herrmann A and Witter E. 2002. Sources of C and N contribution to the flush in mineralization upon freeze-thaw cycles in soils. *Soil Biol. Biochem.* 34:1495-1505.
- Kirchmann H. 1985. Losses, plant uptake and utilization of manure nitrogen during a production cycle. *Acta Agriculturae Scandinavica, Supplementum* 24: 18-27.
- Kirchmann H. 1991. Properties and classification of soils of the Swedish long-term fertility experiments. *Acta Agric Scand* 41:227–242.
- Kätterer T. and Andrén O. 2001. The ICBM family of analytically solved models of soil carbon, nitrogen and microbial biomass dynamics – descriptions and application examples. *Ecological Modelling* 136: 191-207.
- Kätterer T, Andersson L, Andrén O and Persson J. 2008. Long-term impact of chronosequential land use change on soil carbon stocks on a Swedish farm. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 81:145–155.
- La Scala N Jr., Lopes A, Panosso AR, Camara FT., Pereira GT. 2005. Soil CO₂ efflux following rotary tillage of a tropical soil. *Soil & Tillage Res.* 84:222–225.
- Moyano, F.E., Vasilyeva, N., Bouckaert, L., Cook, F., Craine, J., Curiel Yuste, J., Don, A., Epron, D., Formanek, P., Franzluebbers, A., Ilstedt, U., Kätterer, T., Orchard, V., Reichstein, M., Rey, A. Ruamps, L., Subke, J.-A., Thomsen, I.K., Chenu, C. 2011. The moisture response of soil heterotrophic respiration: interaction with soil properties. *Biogeosciences Discussions*, 8, 11577-11599.
- Myrbeck Å, Arvidsson J, Keller T. 2003. Plöjningstidpunktens inverkan på markstruktur, växtproduktion och kväveutlakning på lerjord. Slutrapport från försök 1999-2002. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen Nr 105. SLU, Institutionen för markvetenskap, Uppsala
- Myrbeck, Å., Stenberg M., Rydberg T. 2012a. Establishment of winter wheat - strategies for reducing the risk of nitrogen leaching in a cool-temperate region. *Soil & Tillage Research* 120: 25–31.
- Myrbeck Å., Stenberg M., Arvidsson J., Rydberg T. 2012b. Effects of autumn tillage of clay soil on mineral N content, spring cereal yield and soil structure over time *European Journal of Agronomy* vol. 37 96-104
- Ogle S.M, Swan A., Paustian K. 2012. No-till management impacts on crop productivity, carbon input and soil carbon sequestration. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 149: 37– 49.
- Paustian K, Roberstson GP and Elliot ET. 1995. Management impacts on carbon storage and gas fluxes (CO₂, CH₄) in Mid-latitude cropland. In: R Lala et al. (eds.) *Advances in soil science*. Lewis Rubl., Boca Raton. FL.
- Reicosky, D.C., Archer, D.W., 2007. Moldboard plow tillage depth and short-term carbon dioxide release. *Soil & Tillage Research* 94:109–121.
- Rovira AG and Greacen EL. 1957. The effect of aggregate disruption on the activity of microorganisms in the soil. *Aust. J. Agric. Res.* 8:659-673.
- Schjønning, P., Thomsen, I.K., Petersen, S.O., and Kristensen, K., 2006. Pore size distribution, gas diffusivity, and net nitrogen mineralization for soils under shallow tillage and mouldboard ploughing. *Nordiska jordbruksforskarens förenings Report* 4: 105-111.
- Six J, Ogle SM, Breidt FJ, Conant RT, Mosier AR and Paustian K. 2004. The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only realized when practised in the long term. *Global Change Biol.* 10:155-160.
- Stenberg, M, Aronsson, H, Lindén B., Rydberg T, Gustafson A. 1999. Soil mineral nitrogen and nitrate leaching losses in soil tillage systems combined with a catch crop. *Soil & Tillage Res.* 50: 115-125.

VandenBygaart AG, Gregorich EG and Angers DA. 2003. Influence of agricultural management on soil carbon: A compendium and assessment of Canadian studies. *Can. J. Soil Sci.* 83:363-380.

Waters AG and Oades JM. 1991. Organic matter in water stable aggregates. In: WS Wilson (ed.) *Advances in soil organic matter research.: The impacts on agriculture and the environment.* The Royal Society of Chemistry, UK.

Yang XM and Wander MM. 1999. Tillage effects on soil organic carbon distribution and estimation of C storage. *Soil Tillage Res.* 52:1-9.

Yang XM and Kay BD. 2001. Impacts of tillage practices on total, loose- and occluded-particulate, and humified organic carbon fractions in soils within a field in southern Ontario. *Can. J. Soil Sci.* 81:149-156.

Resultatförmedling

Publikationer (artiklar i vetenskapliga tidskrifter)

Kainiemi, V., Kirchmann H., Kätterer T. 2012. Soil respiration response to tillage intensity at different depths in a sandy soil under laboratory conditions. Submitted to *Soil & Tillage Research*, June 2012.

Kainiemi, V., Kirchmann H., Kätterer T. 2013. Effects of tillage simulation conducted at two different soil water potentials on soil respiration evaluated under controlled conditions in six soils. Manuskript som kommer att skickas till en vetenskaplig tidskrift.

Övriga publikationer

Kainiemi, V. 2010. Soil organic matter decomposition as affected by tillage, soil physical properties and water status, and their interactions. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för mark och miljö. Litteraturstudie, 18 sidor. Arbetet kommer att ingå i Veera Kainiemis doktorsavhandling.

My Bodö, Carolin Haglund, Emma Johansson, Moa Nicolaisen. 2006. Inverkan av jordbearbetning på den biologiska aktiviteten i marken. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för markvetenskap. Projektarbete (3 veckor) inom kursen "markvetenskaplig grundkurs för civilingenjörer".

Presentationer vid konferenser och seminarier

Veera Kainiemi, Thomas Kätterer, Johan Arvidsson, Holger Kirchmann. 2012. Interaction of soil respiration and aggregate size distribution resulting from different tillage practices in a Swedish clay soil. Post presented by V. Kainiemi, Eurosoil congress 1-6 July 2012, Bari, Italy. Conference proceedings p. 1753.

Veera Kainiemi, Johan Arvidsson and Thomas Kätterer. 2011. Short-term effects of tillage practices on soil respiration in a clay soil in Sweden. Oral presentation by Veera Kainiemi at the NJF-congress 14-17 June, Uppsala.

Veera Kainiemi, Johan Arvidsson and Thomas Kätterer. 2011. Short-term effects of tillage practices on soil respiration in a clay soil in Sweden. Oral presentation by Veera Kainiemi at the symposium 'Ecosystem services in soil and water research, 7-10 June 2011, Uppsala, Sweden.

Materialet används också i undervisningen av agronomstudenter