

# Hur påverkas marken av växtföljd, tillförsel av organiskt material och jordbearbetning

- förfruktseffekter
  - mullhalt
  - struktur
- växthusgaser

Thomas Kätterer

# Vad är en bördig jord?

- En bördig åkerjord är en jord som långsiktigt ger höga skördar av god kvalitet.
- Den skall helst vara stenfri, ogräsfri, lättbrukad, sjukdomsfri och ge god bärighet för fordon.
- Bördigheten måste sättas i relation till grödan.
- Bördigheten beror på biologiska, kemiska och fysikaliska faktorer.

# Kan vi påverka bördigheten?

- En del bördighetsfaktorer är icke påverkbara (stenighet, textur, mineralsammansättning), andra kan mer eller mindre påverkas (struktur/packning, mullhalt, pH, näringstillstånd, dränering, ogräsfröbank, sjukdomstryck).
- Mullhalten påverkar många biologiska, kemiska och fysikaliska markegenskaper.
- Jag kommer att belysa mullhaltens betydelse för bördighet utifrån resultat från långliggande fältförsök.

# De svenska Bördighetsförsöken

12  
platser



Skåne

| Växtföljd 1             | Växtföljd 2       |
|-------------------------|-------------------|
| Vårkorn ins.            | Vårkorn           |
| <b>Vall</b>             | <b>Oljeväxter</b> |
| Höstvete<br>stallgödsel | Höstvete          |
| Sockerbetor             | Sockerbetor       |

20 ton stallg i vf1, **efter** höstvete;  
Skörderester tas bort

Mellersta Sverige

| Växtföljd 1             | Växtföljd 2       |
|-------------------------|-------------------|
| Vårkorn ins.            | Vårkorn           |
| <b>Vall</b>             | <b>Havre</b>      |
| <b>Vall</b> stallgödsel | <b>Oljeväxter</b> |
| Höstvete                | Höstvete          |
| Havre                   | Havre             |
| Höstvete                | Höstvete          |

30 ton stallg i vf1, **före** höstvete;  
Skörderester lämnas kvar

## Försökssupplägg

2 block

x 2 växtföljder

x 4 PK-nivåer

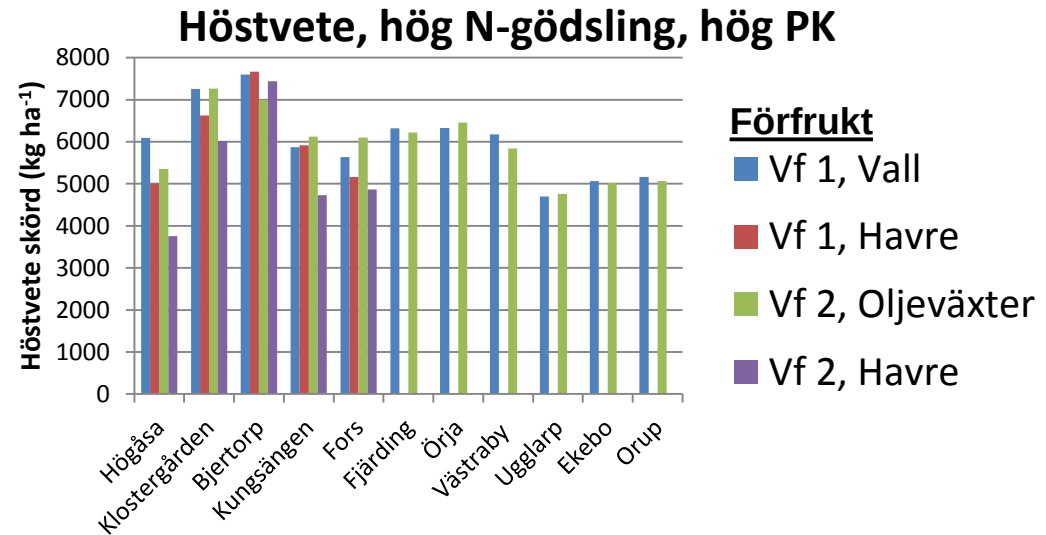
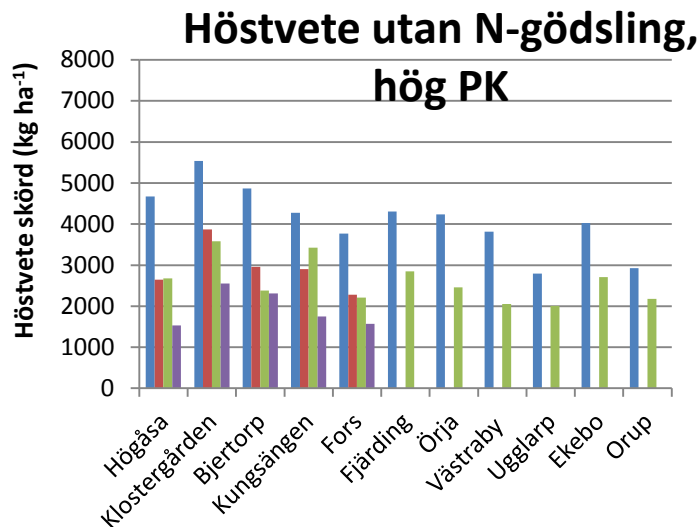
x 4 N-nivåer

= 64 rutor





# Förfruktseffekt, bördighet, produktionspotential



|              | Ler% | C%_start |
|--------------|------|----------|
| Högåsa       | 7    | 2.4      |
| Klosterg.    | 48   | 2.1      |
| Bjertorp     | 30   | 2.2      |
| Kungsängen   | 56   | 2.1      |
| Fors         | 18   | 2.2      |
| Fjärdingslöv | 14   | 1.4      |
| Örja         | 23   | 1.1      |
| Västraby     | 26   | 2.1      |
| Ugglarp      | 12   | 1.5      |
| Ekebo        | 18   | 3.1      |
| Orup         | 12   | 2.4      |

## Skåne

| Växtföljd 1                            | Växtföljd 2 |
|----------------------------------------|-------------|
| Vårkorn ins.                           | Vårkorn     |
| Vall                                   | Oljeväxter  |
| Höstvete<br><small>stallgödsel</small> | Höstvete    |
| Sockerbetor                            | Sockerbetor |

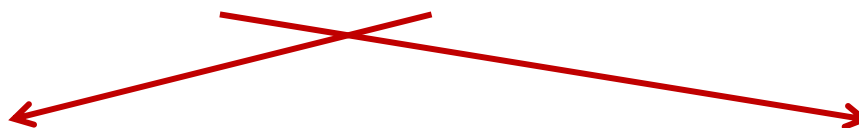
## Mellersta Sverige

| Växtföljd 1                        | Växtföljd 2 |
|------------------------------------|-------------|
| Vårkorn ins.                       | Vårkorn     |
| Vall                               | Havre       |
| Vall<br><small>stallgödsel</small> | Oljeväxter  |
| Höstvete                           | Höstvete    |
| Havre                              | Havre       |
| Höstvete                           | Höstvete    |

- Vid hög N: 700 kg högre hv-skörd efter havre i vf1 jämfört med vf2. Skillnad i markkol = 0.14%
- Förfruktseffekten beror på växtföljden som helhet

# Gradering av platserna efter **produktionsförmåga** (vid högsta NPK-nivå)

|              | Fjärd.      | Örja        | Västraby    | Ekebo       | Ugglarp     | Orup        |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Höstvete     | 1.13        | <b>1.16</b> | 1.02        | 0.91        | 0.87        | 0.91        |
| Vårkorn      | <b>1.12</b> | 1.10        | 0.91        | 1.00        | 0.96        | 0.91        |
| Oljeväxter   | 1.05        | <b>1.15</b> | 1.05        | 0.95        | 0.90        | 0.90        |
| Sockerbetor  | <b>1.20</b> | 1.03        | 1.01        | 0.88        | 0.97        | 0.90        |
| <b>Medel</b> | <b>1.12</b> | <b>1.11</b> | <b>1.00</b> | <b>0.94</b> | <b>0.92</b> | <b>0.91</b> |



|              | Fjärd.      | Ekebo       | Örja        | Ugglarp     | Orup        | Västraby    |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Höstvete     | 1.09        | 1.22        | 1.09        | 0.87        | 0.96        | 0.78        |
| Vårkorn      | 1.06        | 1.12        | 1.01        | 1.12        | 0.96        | 0.74        |
| Oljeväxter   | 1.00        | 1.20        | 1.20        | 1.00        | 1.00        | 0.60        |
| Sockerbetor  | 1.48        | 0.99        | 1.11        | 1.11        | 0.43        | 0.87        |
| <b>Medel</b> | <b>1.16</b> | <b>1.13</b> | <b>1.10</b> | <b>1.02</b> | <b>0.84</b> | <b>0.75</b> |

Gradering av **bördighet** enligt skörd utan NPK-gödsling

# Vilken plats är bördigast?

- Fjärdingslöv? Högst produktionspotential i genomsnitt över alla grödor
- Örja? Högst produktionspotential för höstveten och oljeväxter
- Ekebo? Högst avkastning i ogödslade nollrutor för höstveten, oljeväxter och vårkorn (främst pga. hög mullhalt)
- Fysikaliska (kompakt alv) eller kemiska (e.g. sulfid i alven) kan begränsa rotdjupet och därmed leda till vatten/näringsbrist

# Skrymdensitet och rotdjup



Vreta Kloster

1.48

1.44

1.46

1.47

1.55

1.54

1.65

Rotdjup  
100 cm



Ekebo

1.70

1.71

1.72

1.73

1.81

1.85

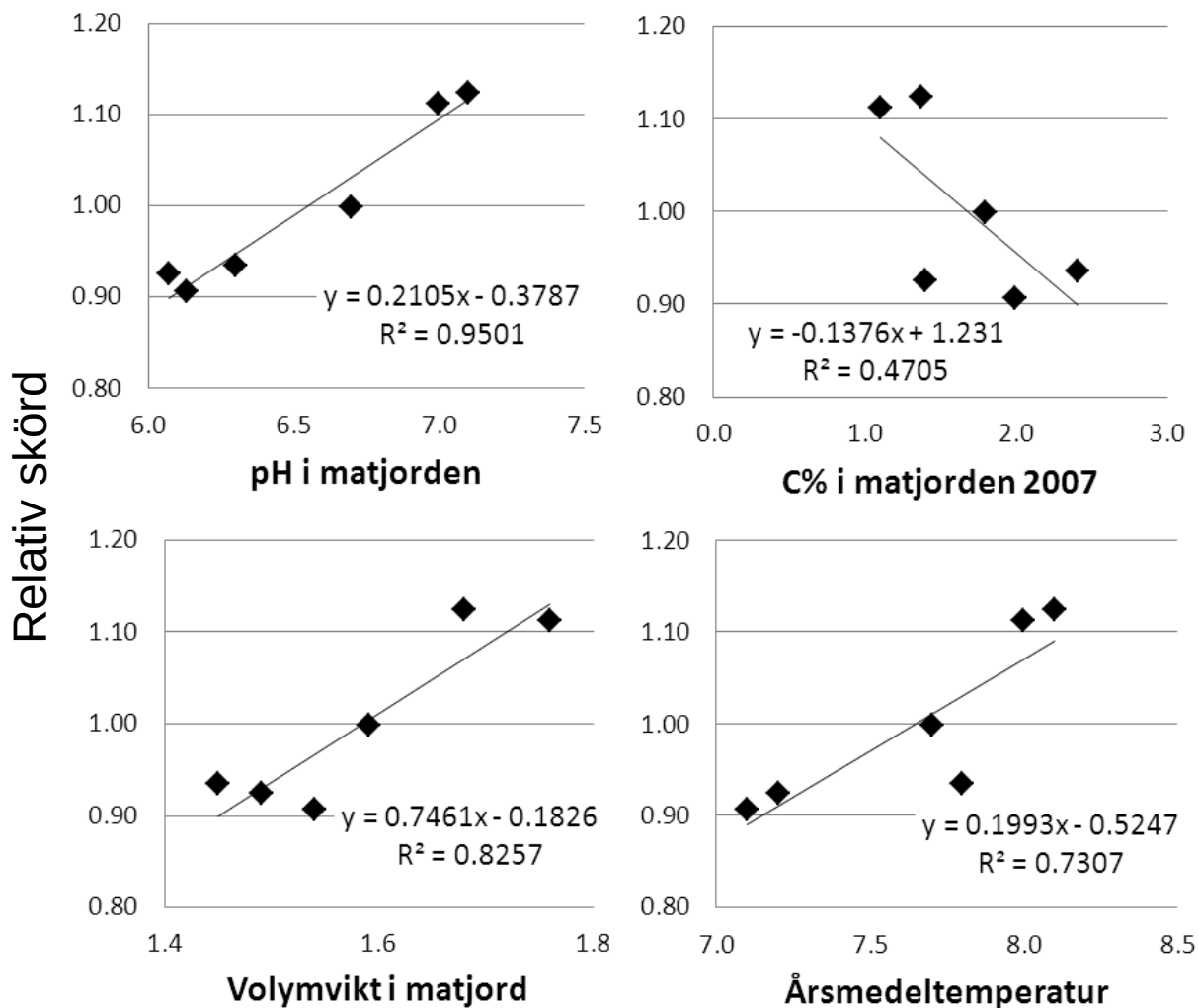
1.83

Rotdjup  
60 cm

Kirchmann et al.



# Kan vi förklara skillnaderna i bördighet mellan platserna?



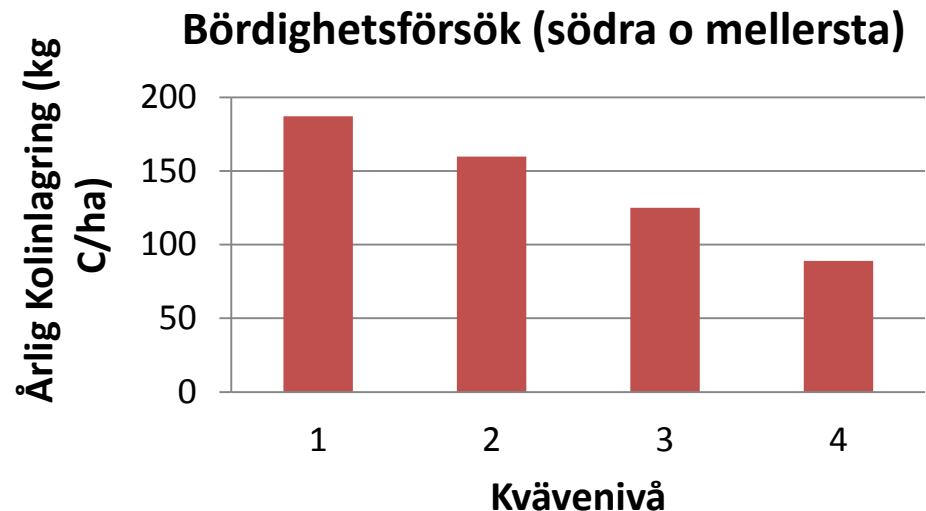
Starka korrelationer finns – men att avgöra vilka samband som är kausala är inte trivialt

# Högre multhalt i växtföljden med stallgödsel och vall i bördighetsförsöken

| Växtföljd 1 | Växtföljd 2       |
|-------------|-------------------|
| Vårkorn     | Vårkorn           |
| <b>Vall</b> | <b>Oljeväxter</b> |
| Höstvete    | Höstvete          |
| Sockerbetor | Sockerbetor       |

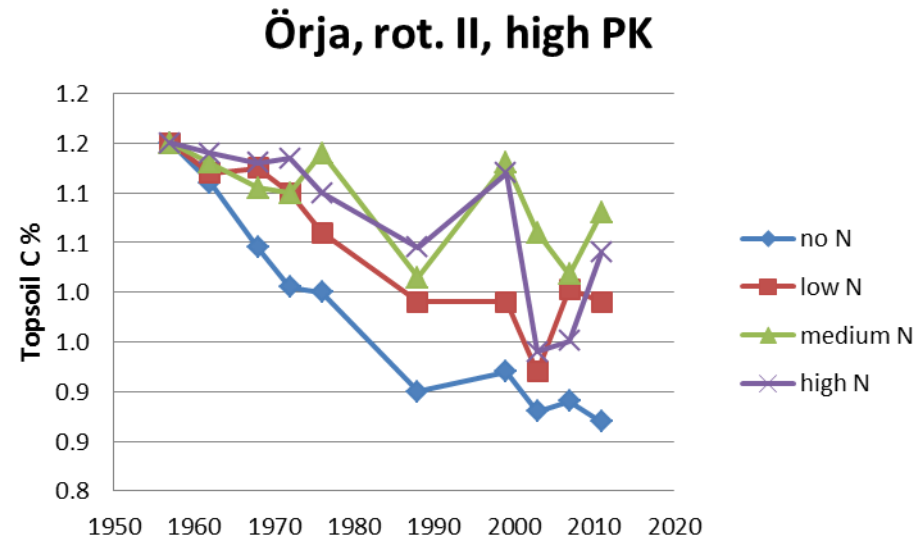
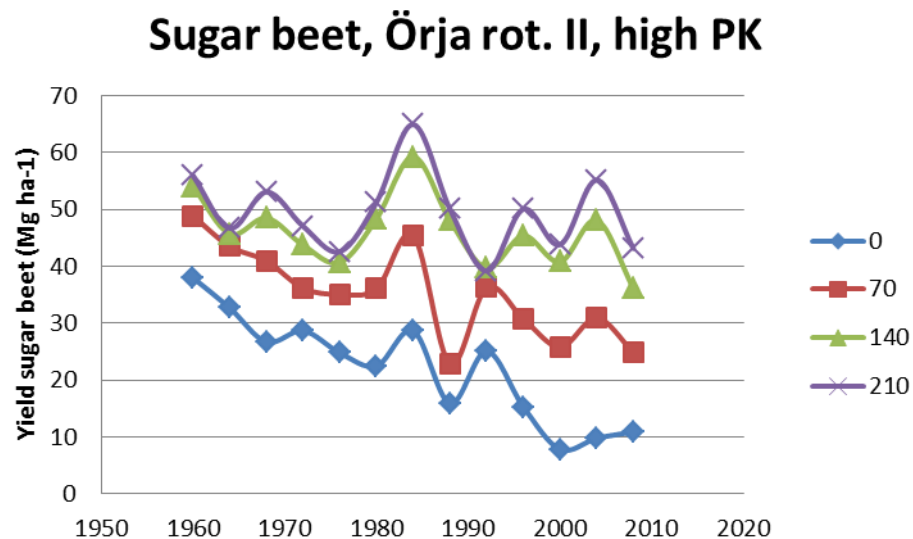
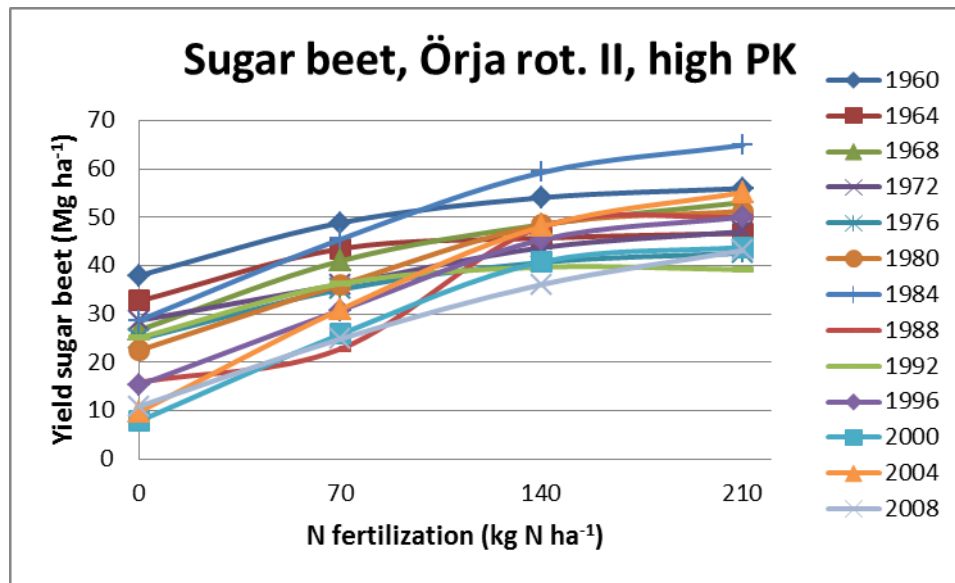
Halm och blast  
förs bort;  
20 ton stallg/vf  
före höstvete

Halm och blast  
lämnas

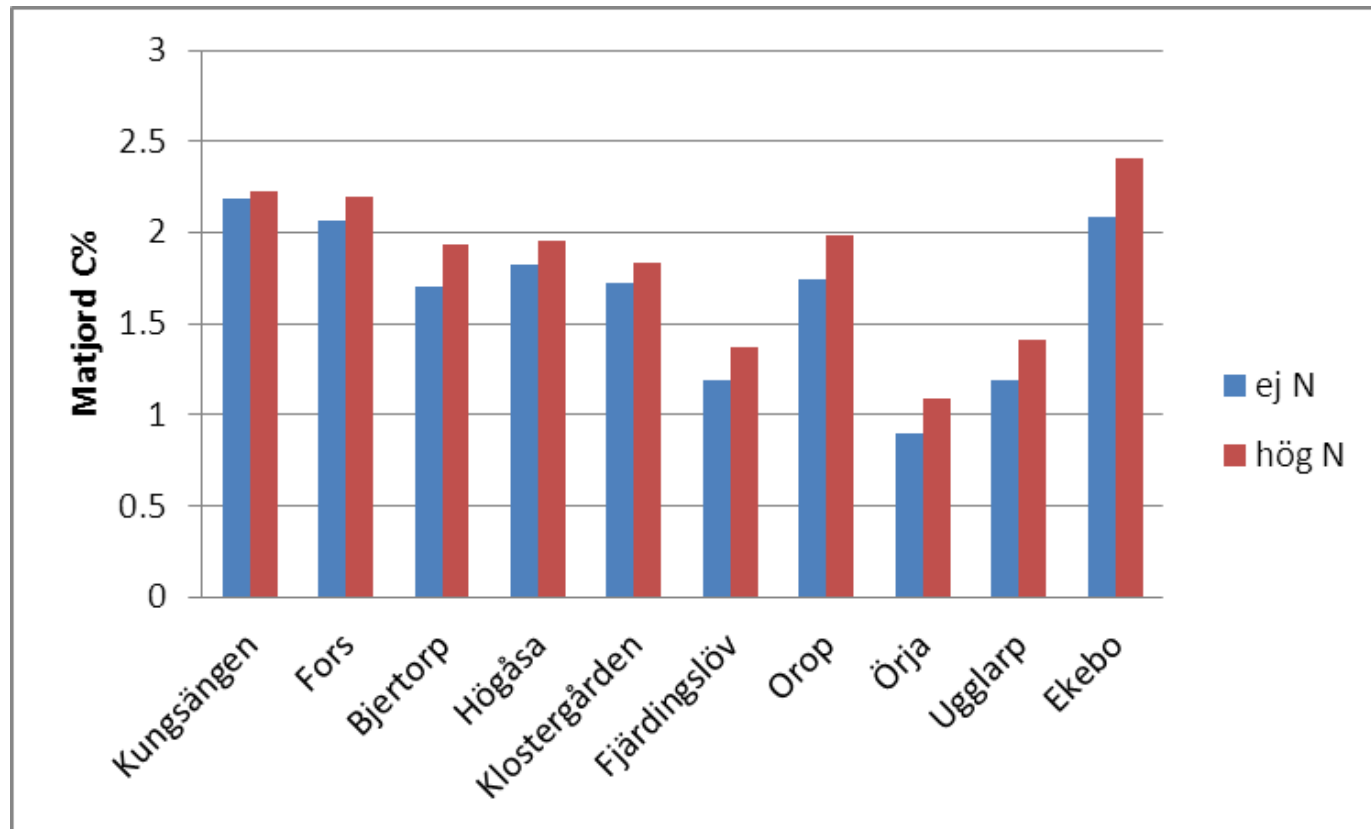


- Högre multhalter i vf1 (130 kg C per ha och år i genomsnitt)
- Kolinlagringen beror på stallgödsel och skörderester/rötter
- Vf-effekten minskar med ökande N-givor

# Skördar och multhalter i Bördighetsförsöken t.ex. Örja



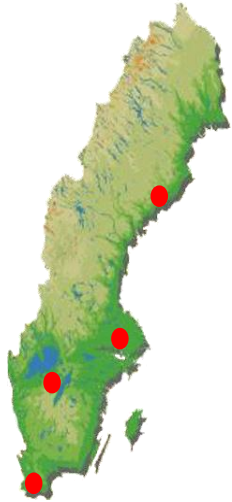
## Kävegödslingens effekt på markens kolhalt (efter ca. 50 år i bördighetsförsöken)



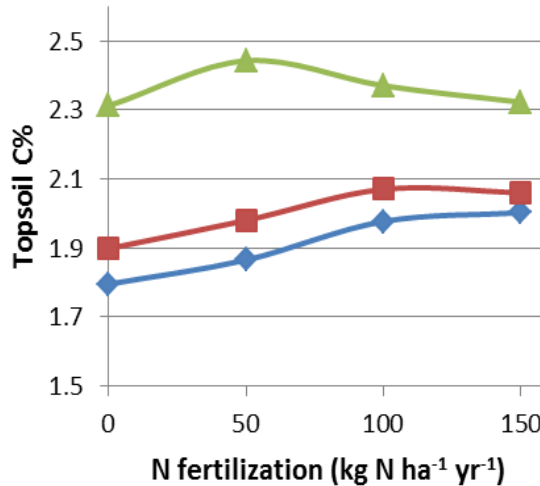
Större mängd skörderester och framförallt högre rotproduktion höjer mullhalten



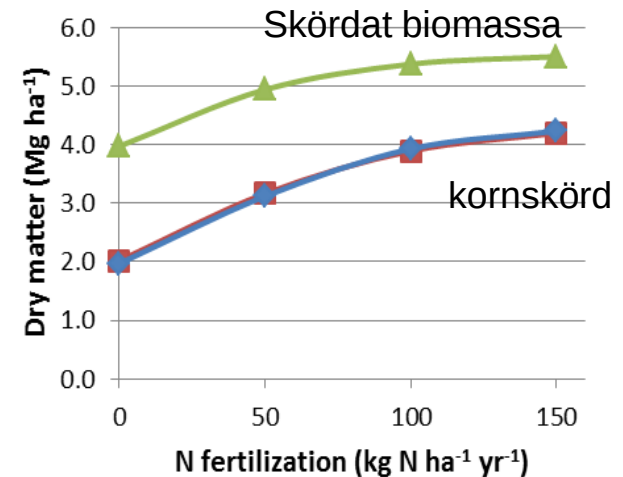
# Humusbalansförsöken > 30 år



## Kol i matjorden



## Skördar (medel 30 år)

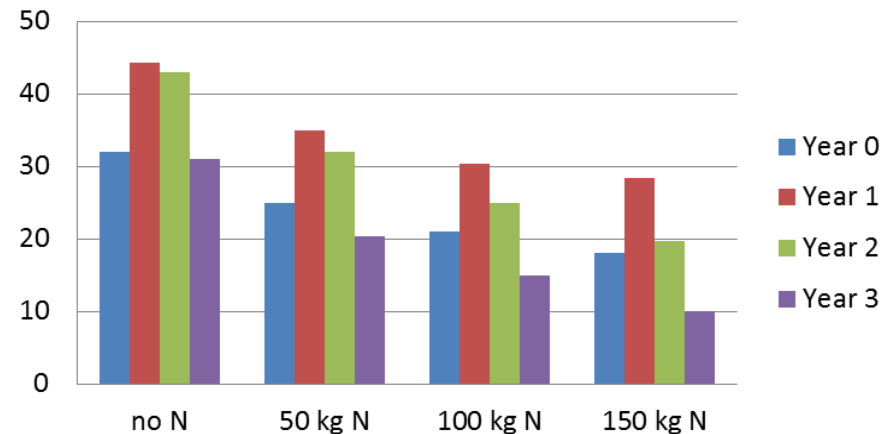


0,1% C motsvarar 3,8 ton C/ha  
eller 130 kg C per ha och år

## Effekter på markkol

- Högst kolhalt med vall
- Halmbortförsel minskar kolförrådet
- Markkolet visar samma dynamik som produktionen i spannmål men inte i en blandvall

## Andel klöver (%), 30 år, 4 platser



# Två långliggande försök med fokus på organiskt material: Ultuna och Lanna



**Samma mängd kol tillförs vartannat som gröngödsel, halm, stallgödsel, sågspån, hushållskompost, torv och rötslam (med eller utan N-gödsel)**

**Ultuna** sedan 1956, mellanlera, 1,5 C vid start

15 behandlingar i 4 block, 60 rutor á 4 m<sup>2</sup>

Grödor: Mest vårstråsäd och Mais sedan år 2000

**Lanna** sedan 1996, styv lera, 2% C vid start

9 behandlingar i 4 block, 36 rutor á 100 m<sup>2</sup>

Grödor: Mest vårstråsäd



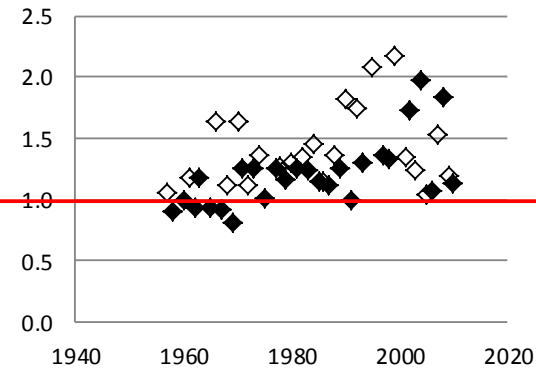
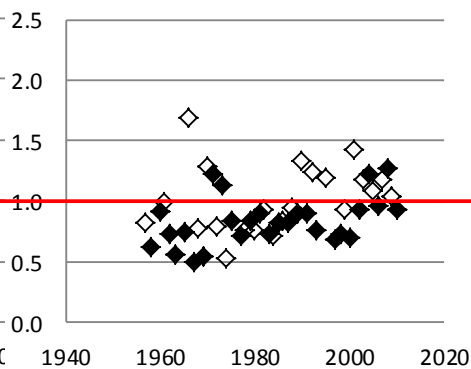
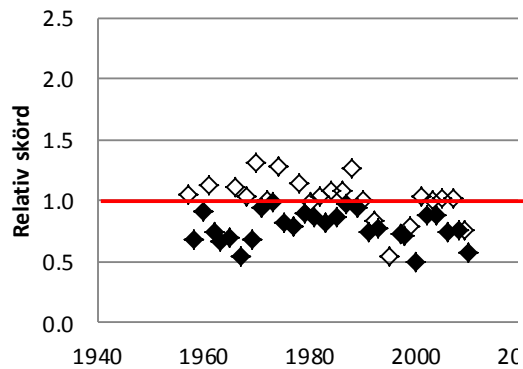
# Ultuna Ramförsök, sedan 1956



Gröngödsel

Stallgödsel

Rötslam

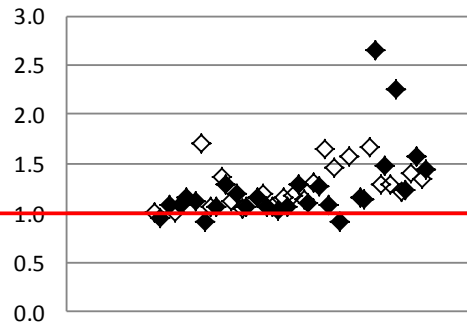
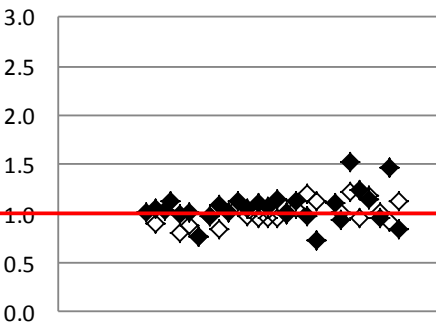
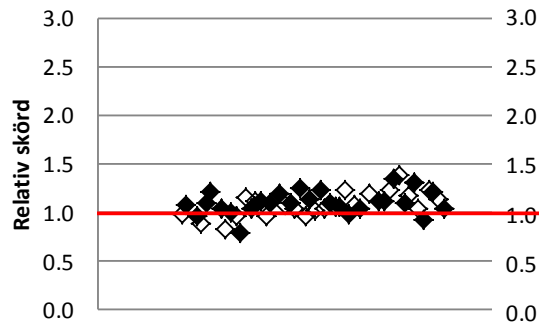


Skörd i  
N-gödslad

Halm +N

Sågspån +N

Torv +N

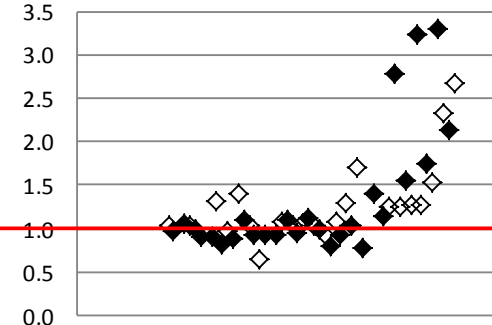
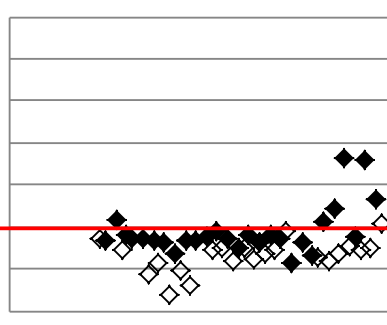
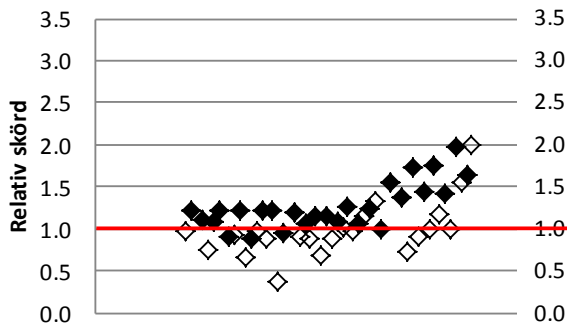


Skörd i  
N-gödslad

Halm -N

Sågspån -N

Torv -N

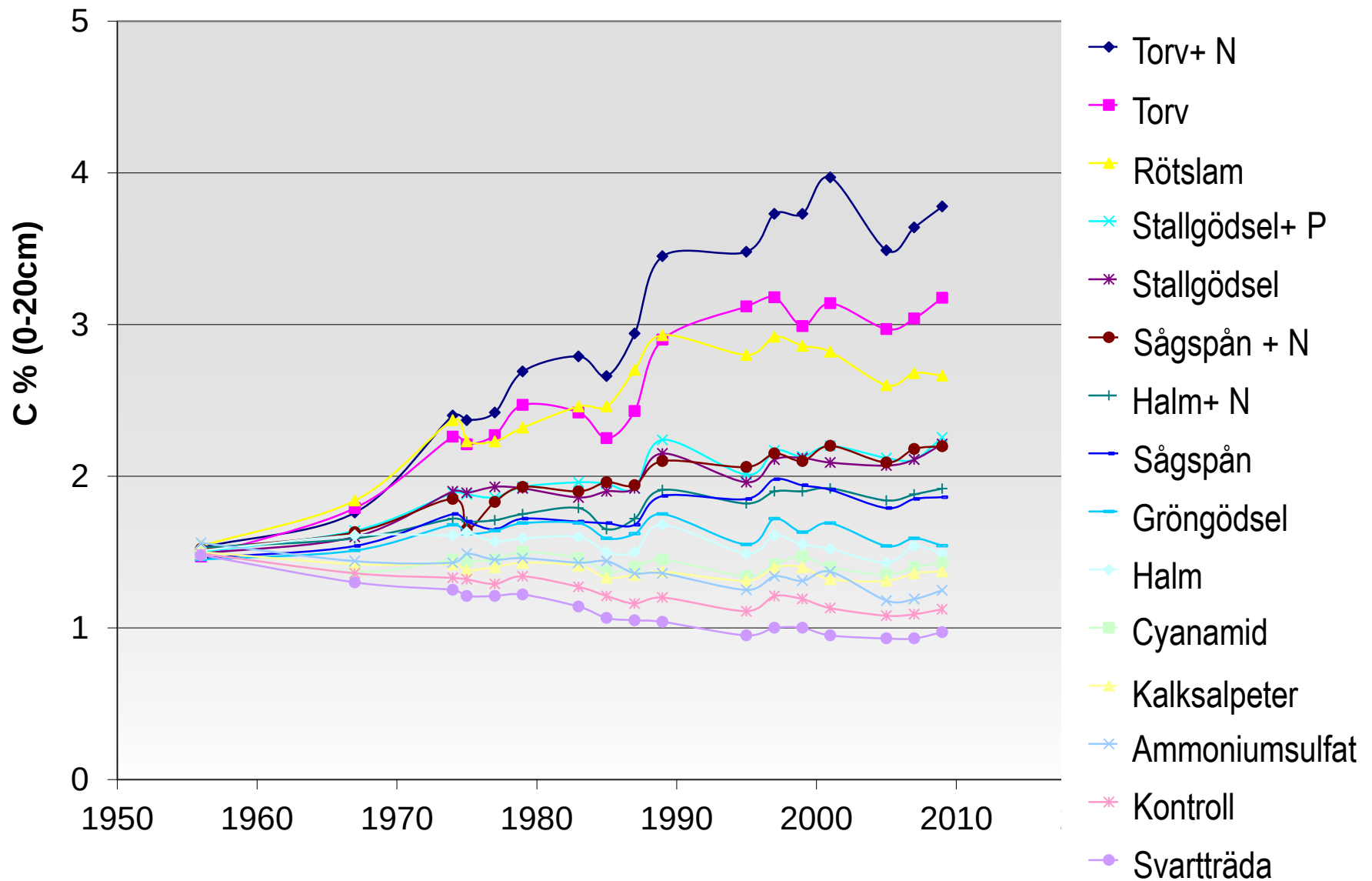


Skörd i  
ogödslad

Öppna symboler:  
Fyllda symboler:

Första året efter organiska tillsatser  
Andra året efter organiska tillsatser

# Markkol i ramförsöket





# Effekten av pH på bördigheten

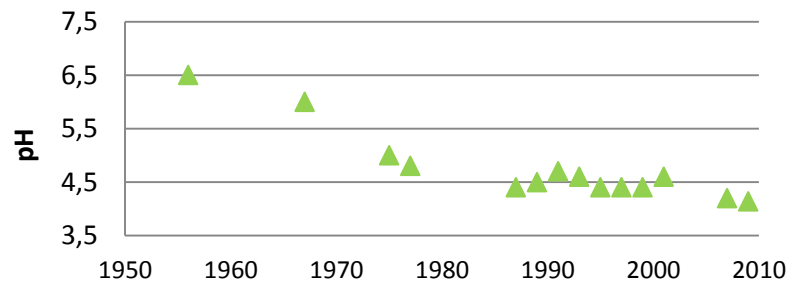
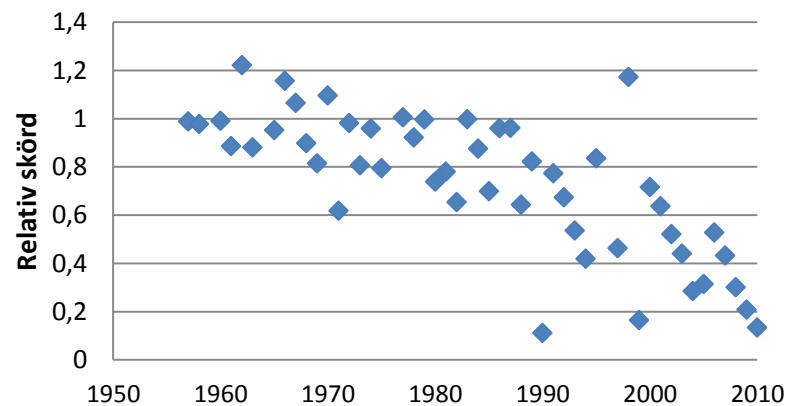
Ultuna Ramförsök:

Jämförelse av led gödslat med samma mängd ammoniumsulfat  
respektive kalksalpeter



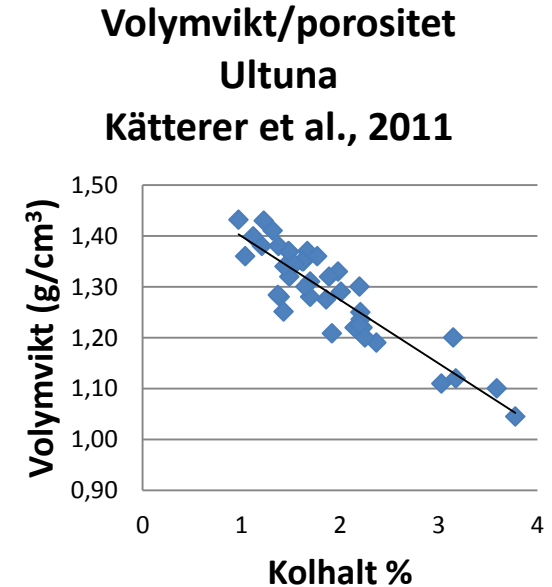
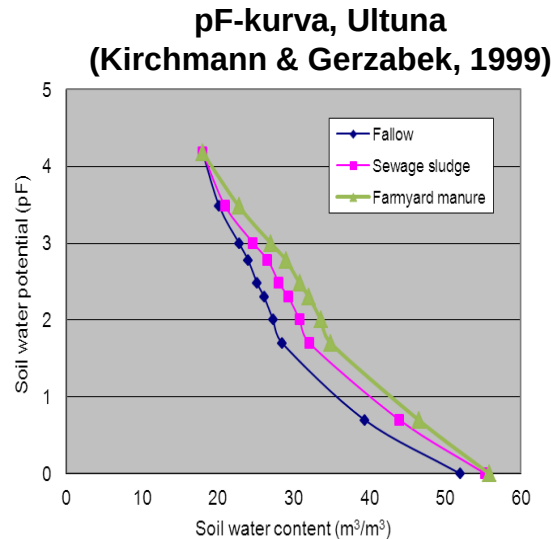
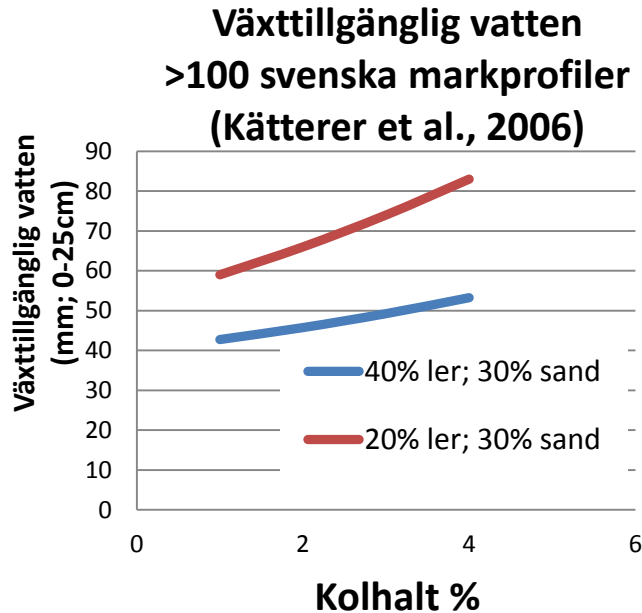
Drastiska skördesänkningar < pH 4,5

Skördar i led gödslat med  
ammoniumsulfat / calciumnitrat





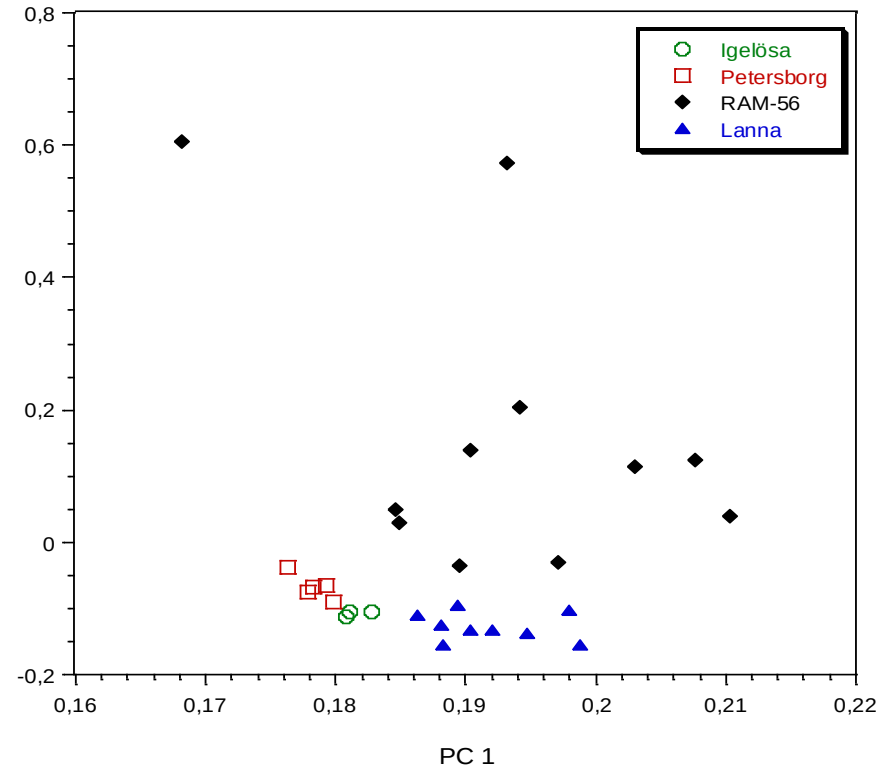
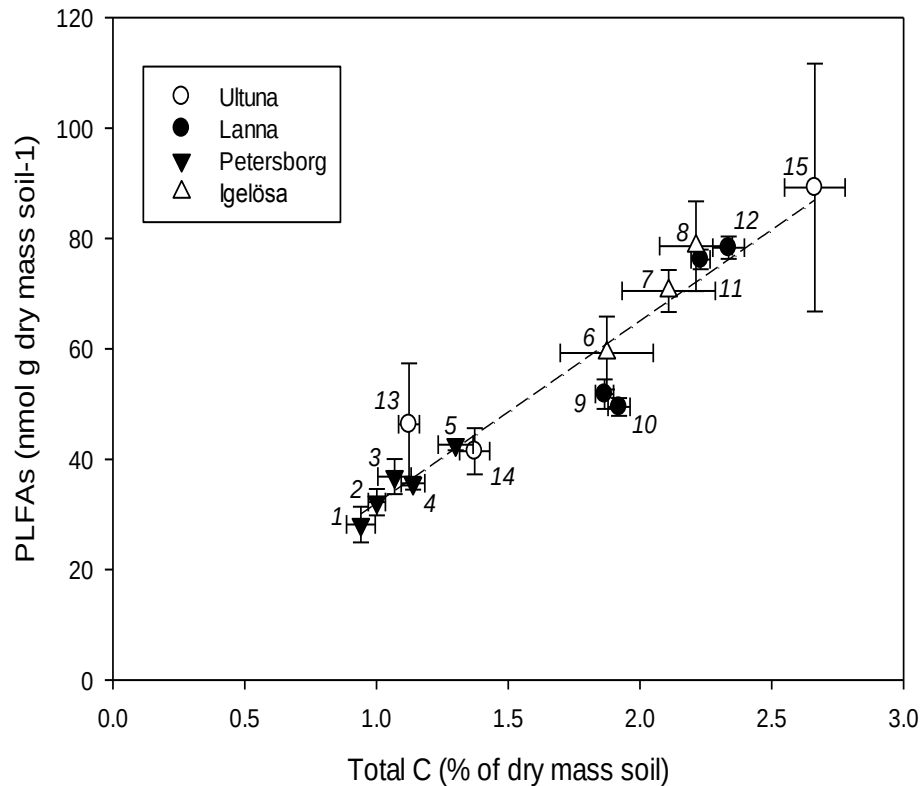
# Mullen påverkar markens fysikaliska egenskaper



En fördubbling av mullhalten

- Ökar mängden växttillgänglig vatten med ca. 10%
- Minskar volymvikten med ca. 10%
- Ökar markens vattenhållandeförmåga
- Effekten är större i sandjordar än i lerjordar

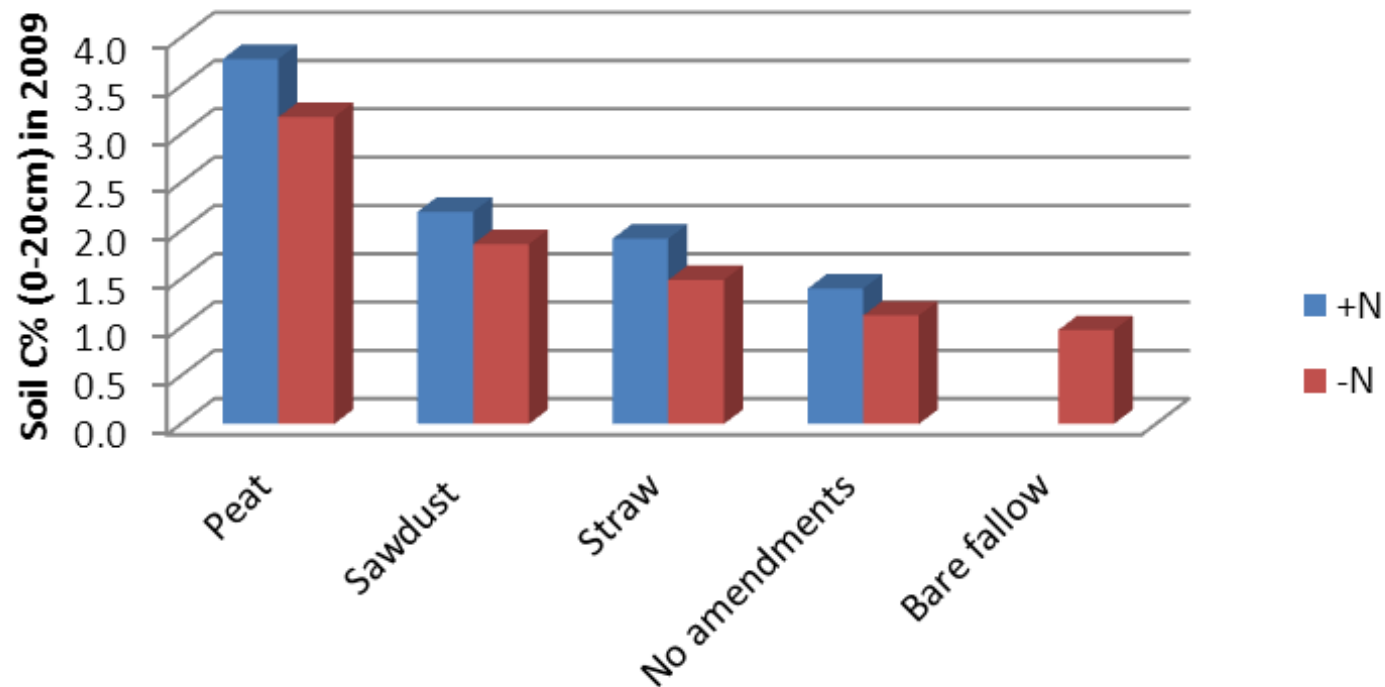
# Mullhalten påverkar markens organismer



- Mikrobiell biomassa ökar med mullhalt
- Mikrobsamhällets sammansättning styrs mera av plats (mineralogi) än av odlingsåtgärder

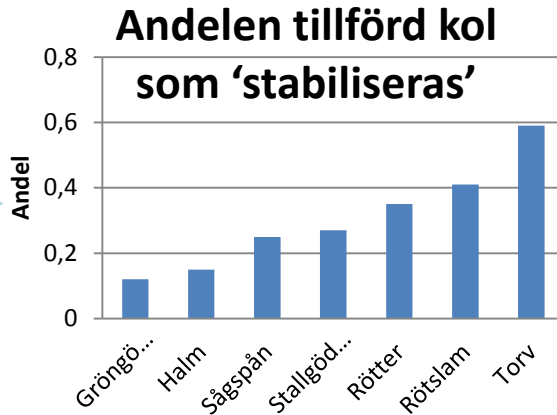
# Ramförsöket: Effekten av N-gödsling och tillfört organiskt material på markens kolförråd kan kvantifieras

## Effect of mineral N fertilizer on soil C



# Markens kolbalans styrs av koltillförsel och nedbrytning

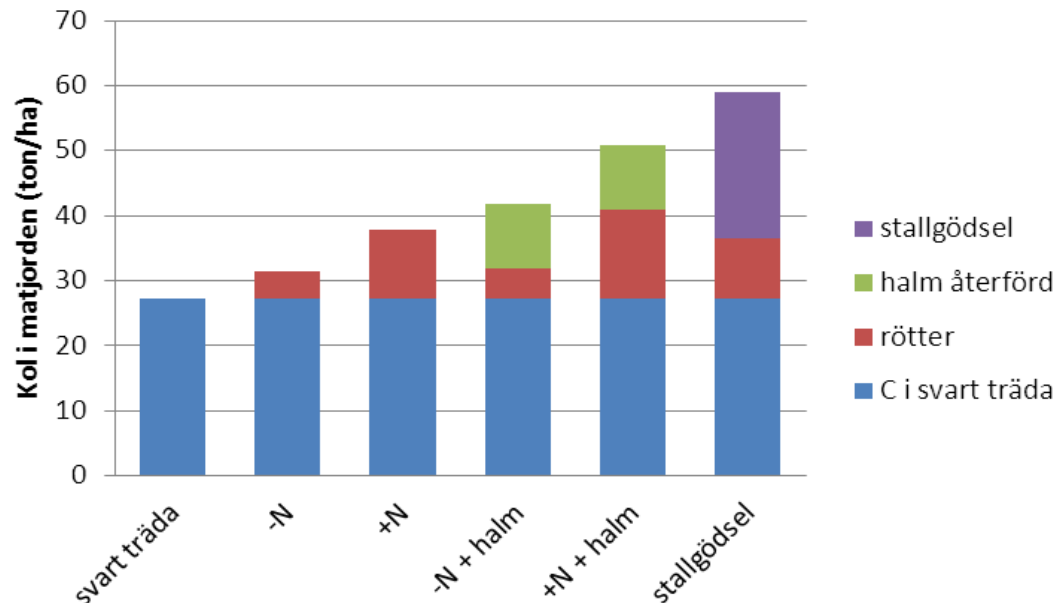
Grödval och odlingsåtgärder



C i mark

Nedbrytningen styrs främst av klimat, jordart, dränering, pH

Exempel Ultuna ramförsök

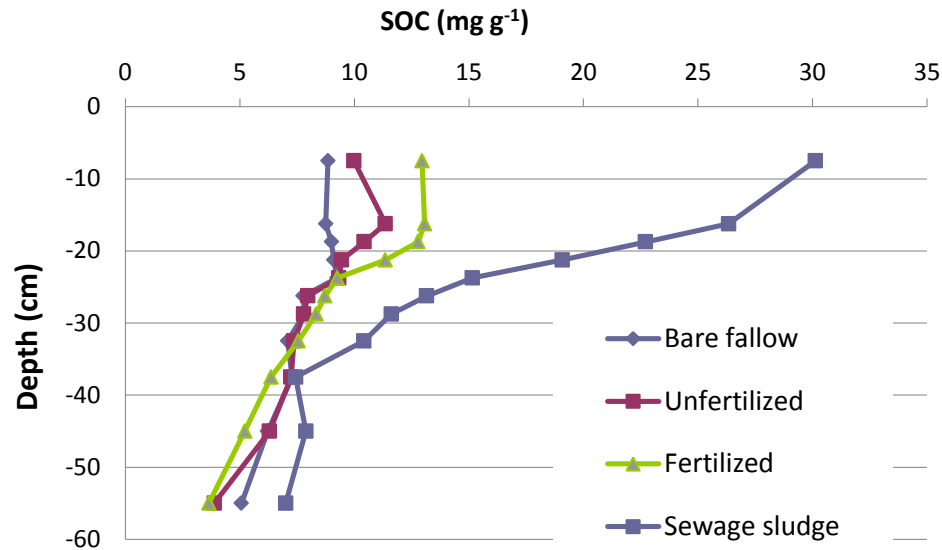


**Rötternas effekt är minst 2,3 gånger större jämfört med halm**



# Signifikanta förändringen i markens kolhalt ner till ca. 40 cm p.g.a. kvävegödsling och organiska tillsatser

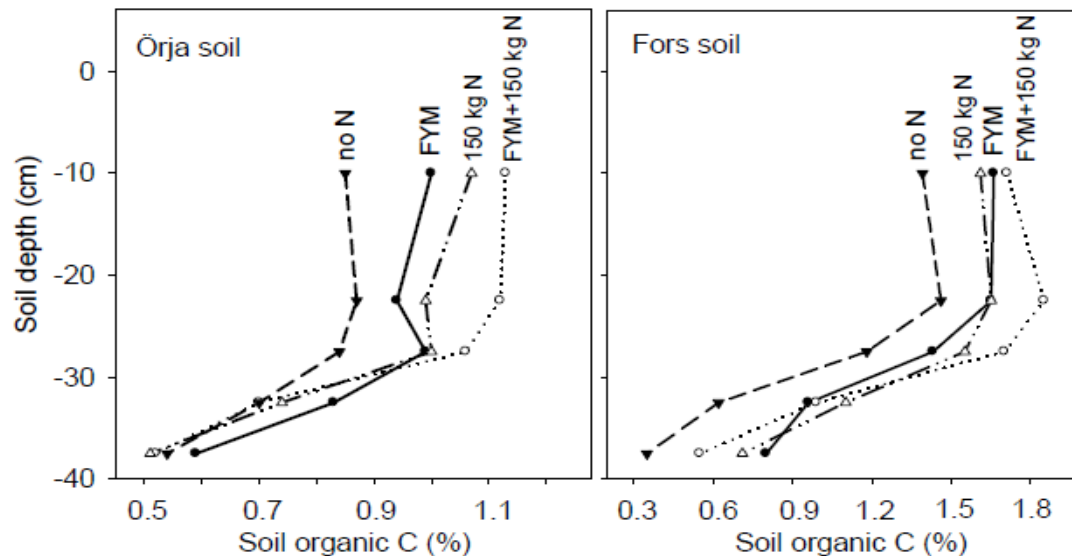
Ultuna,  
53 år



Effekter på alven är inte försumbara

Menichetti et al., 2013  
Kirchmann et al., 2012;  
Kätterer et al., 2013

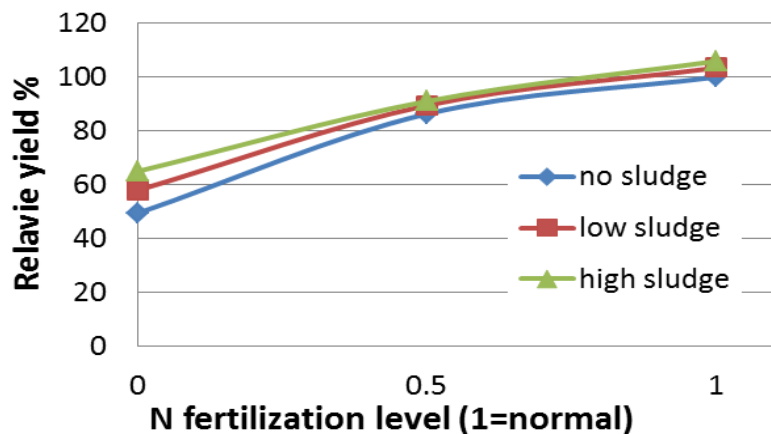
Bördighets-  
försök 50 år



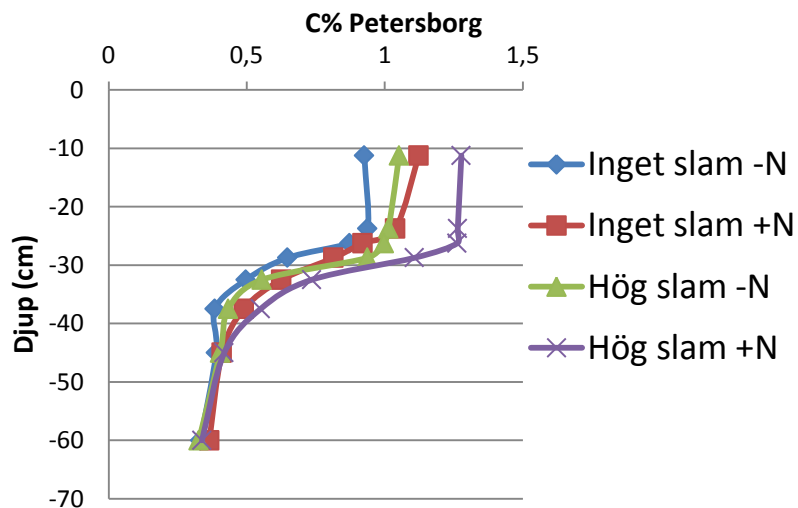
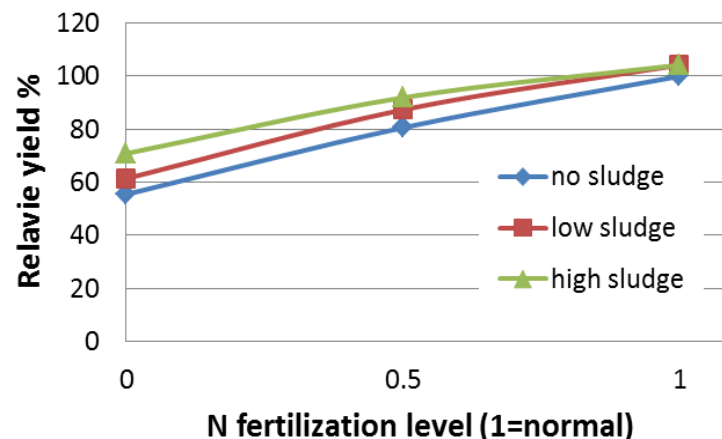
# Gödsling med röttslam

## (4 eller 12 ton ts vart fjärde år) 1982-2010

N response, Petersborg 1982-2010

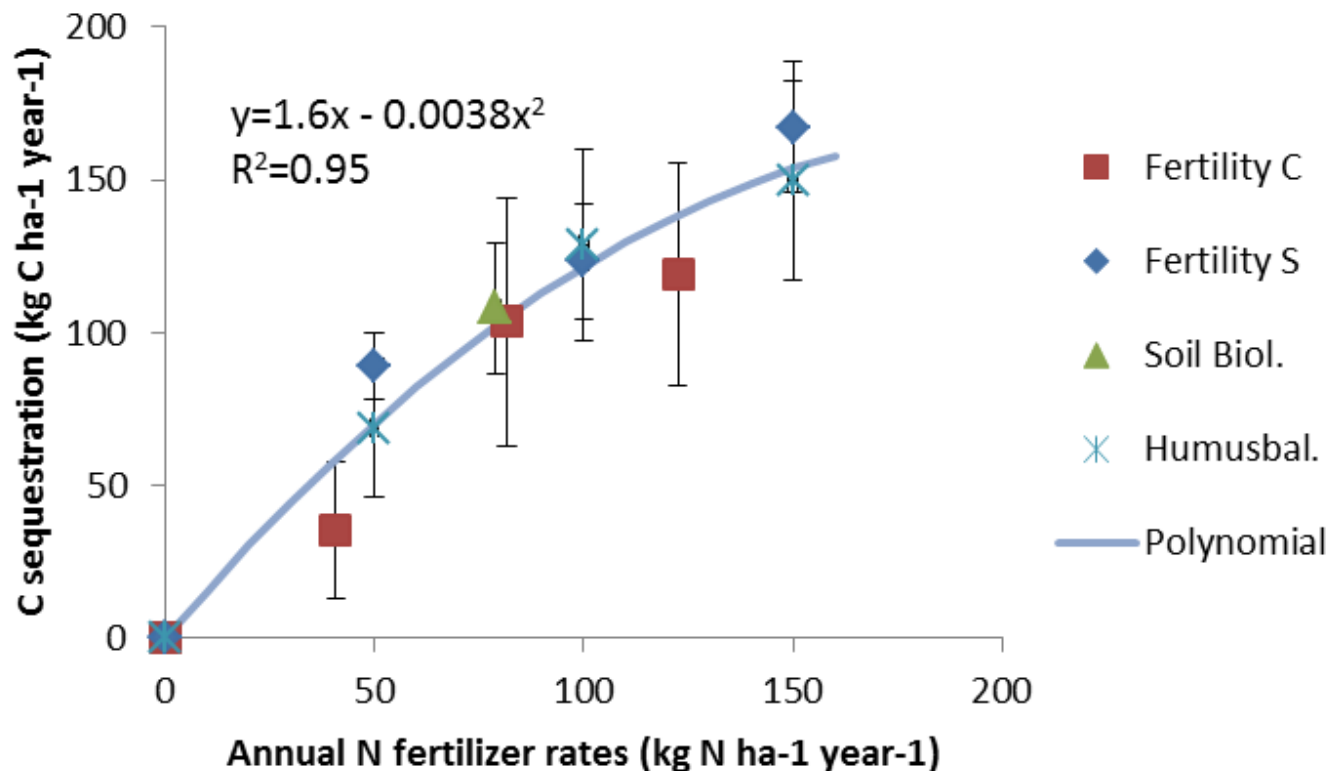


N response, Igelsösa 1982-2010



- 6% högre skörd i Slam+N
- Låg N-effekt av slam
- Högst C-förråd i 'Slam+N'
- Liknande C-förråd i 'Slam-N' och 'Inget slam+N' visar betydelsen av skörderester – främst rötter

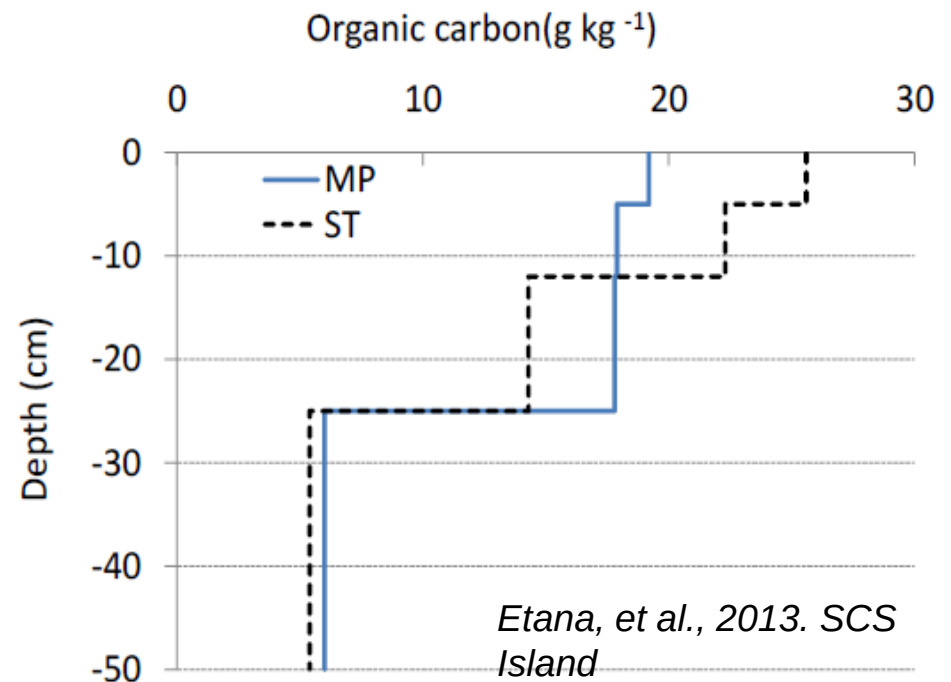
Resultat från 16 långliggande försök (4 serier):  
**Varje kilo N höjer kolförrådet i marken med  
1.15 kg C i matjorden (0-20 cm)**



**Kolfastläggning i alven: 0.55 kg C kg<sup>-1</sup> N**

**Total kolfastläggning : 1.7 kg C kg<sup>-1</sup> N (6.2 kg CO<sub>2</sub>-equ.)**

# Leder reducerad jordbearbetning till högre kolförråd i marken?



- Grund bearbetning jämfört med plöjning leder till högre kolhalt i översta lagret.
- Inga skillnader i hela kolförrådet efter 35 år på Ultuna (1974-2009)

# Leder minskad jordbearbetning till kolfastläggning?

Effekten beror på

- Skördar
- Klimat (främst i torra områden)

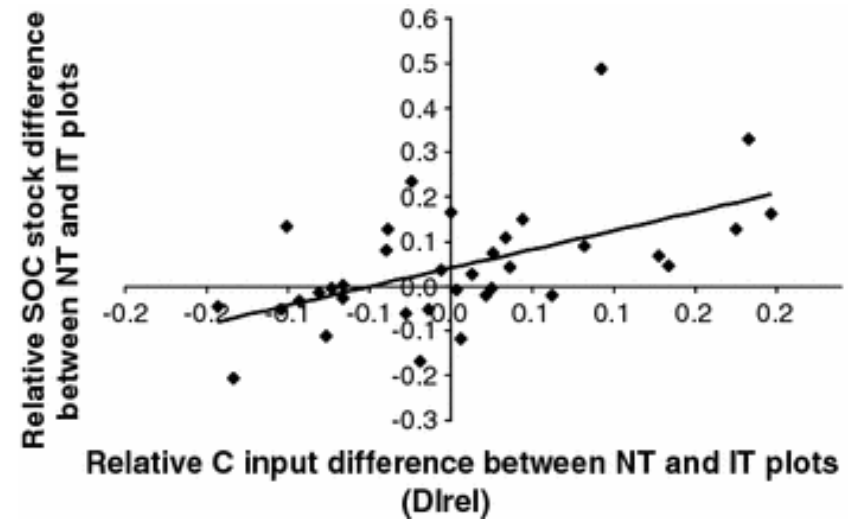
Tidigare uppskattningar av effekten var för optimistiska

Fördelar:

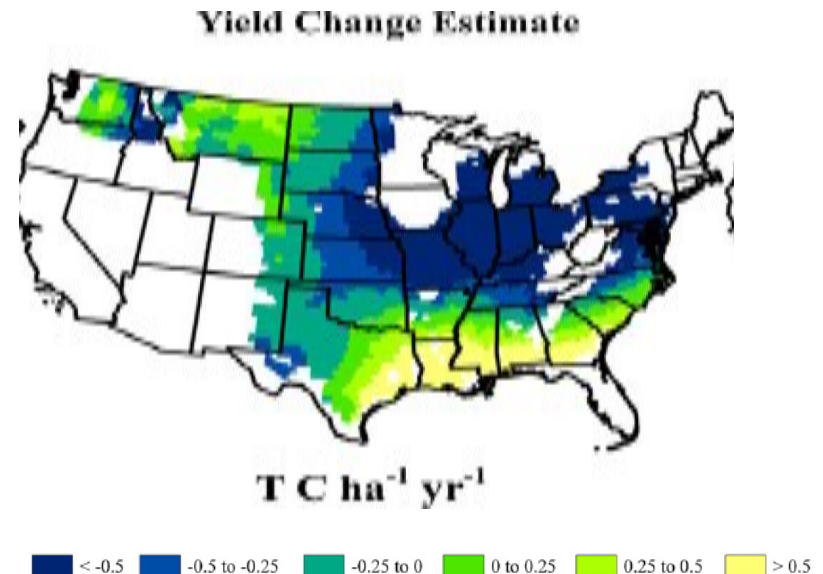
- Minskad dieselförbrukning
- Minskad erosion

Nackdelar:

- Risk för högre N<sub>2</sub>O-emissioner



Virto et al. 2012 Biogeochem. 108:17-26

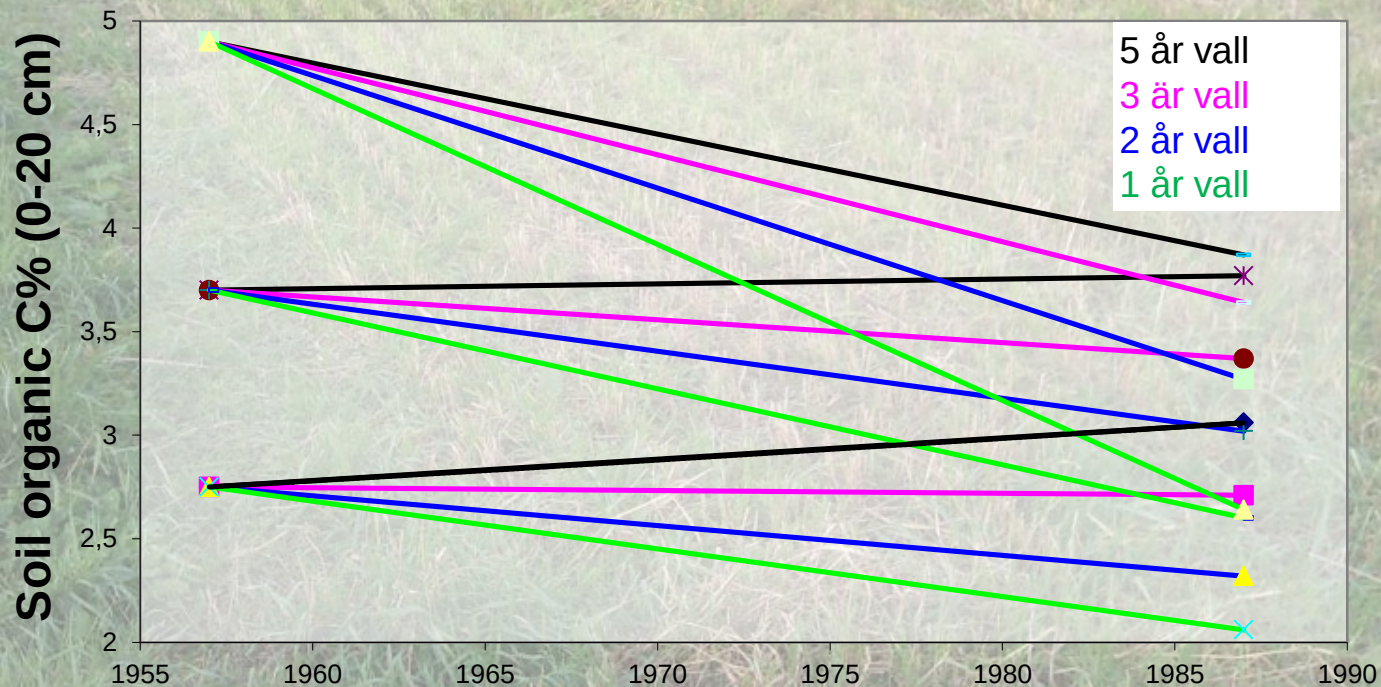


Ogle et al. 2012. AGEE 149, 37– 49



# Perenner i växtföljden höjer mullhalten

Försök i Röbäcksdalen, Ås och Offer,  
med 6-åriga växtföljder



Bolinder et al. 2010, AGEE138: 335–342



# Ett system med ettåriga växter + fånggröda liknar vall

Fånggrödor minskar erosion och näringsläckage och  
höjer kolhalten i marken

SLF-project 2013-2015

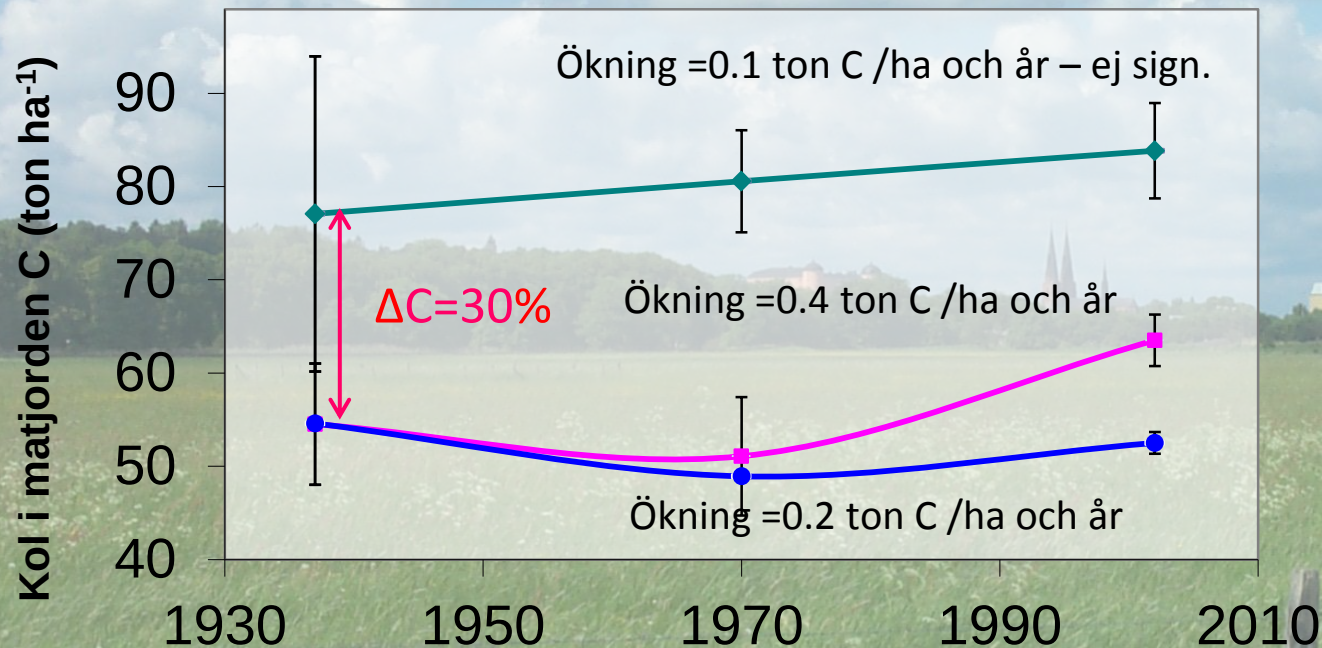
Photo: Gunnar Torstensson.  
Timothy and English Ryegrass





# Landanvändning och kol i mark

## Kungsängen



Betesmark

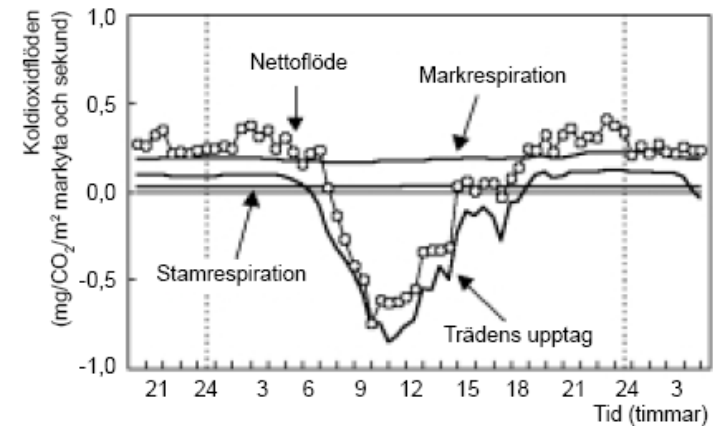
Åker fram till  
1970, sedan  
betesmark

Åker sedan  
1860

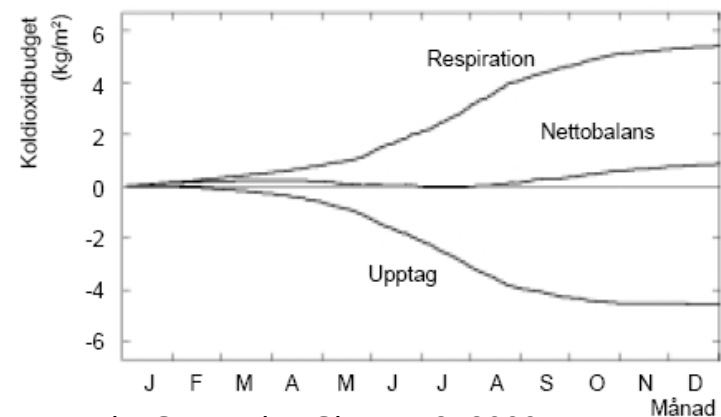
# Hur mäter man förändringar i kolförråd?

1. Långliggande försök
2. Återkommande inventeringar
3. Mikrometeorologiska metoder (eddy flux)

Ett dygn



Ett år

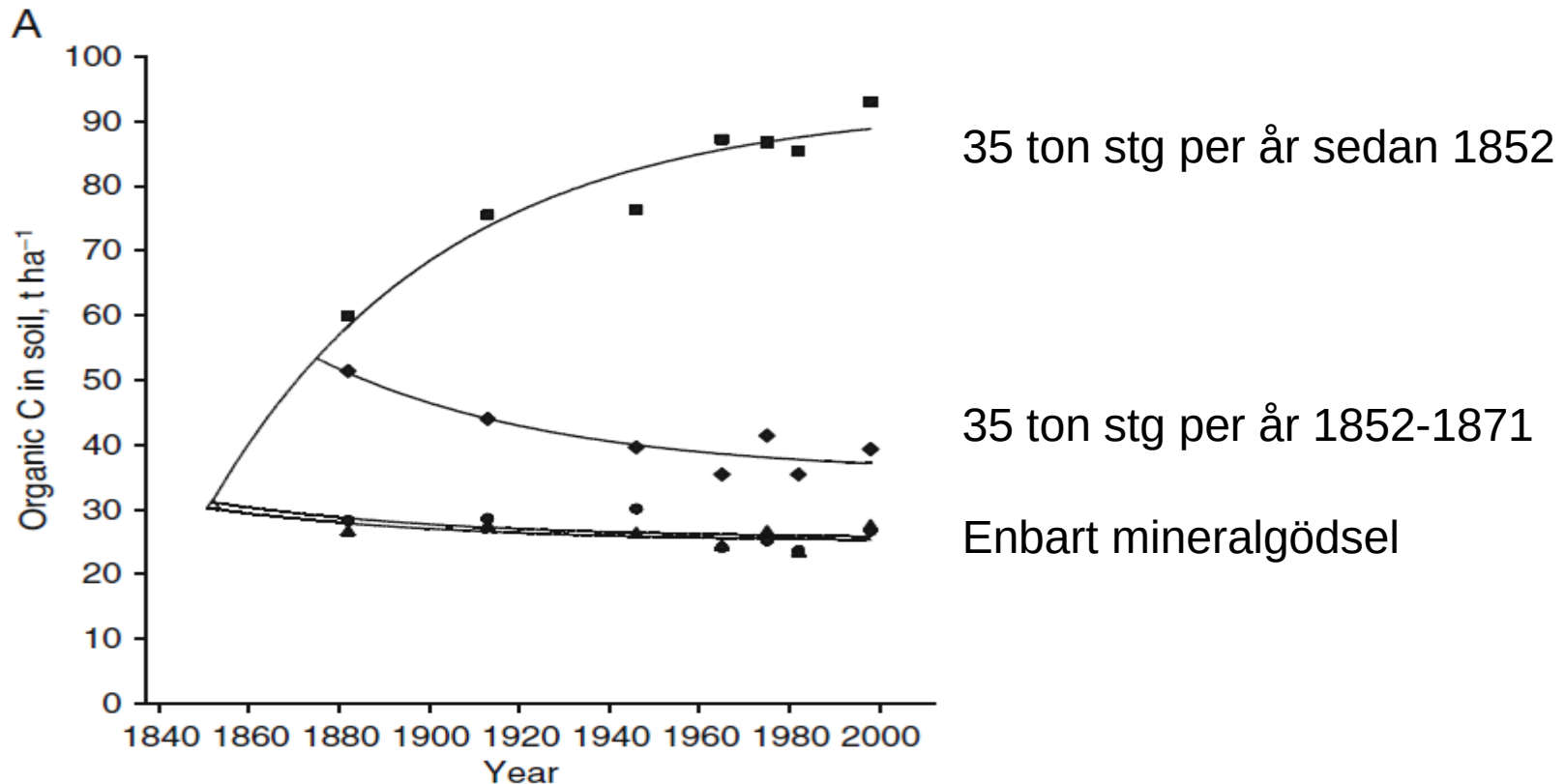


Norunda; SLU Fakta Skog nr 2, 2000

Mäter hela ekosystemet  
Bra för förståelse av ekosystem  
Bara korta tidsserier tillgängliga

# Effekten av åtgärder för ökad kolinlagring minskar med tiden

Hoosfield Continuous Barely, Rothamsted



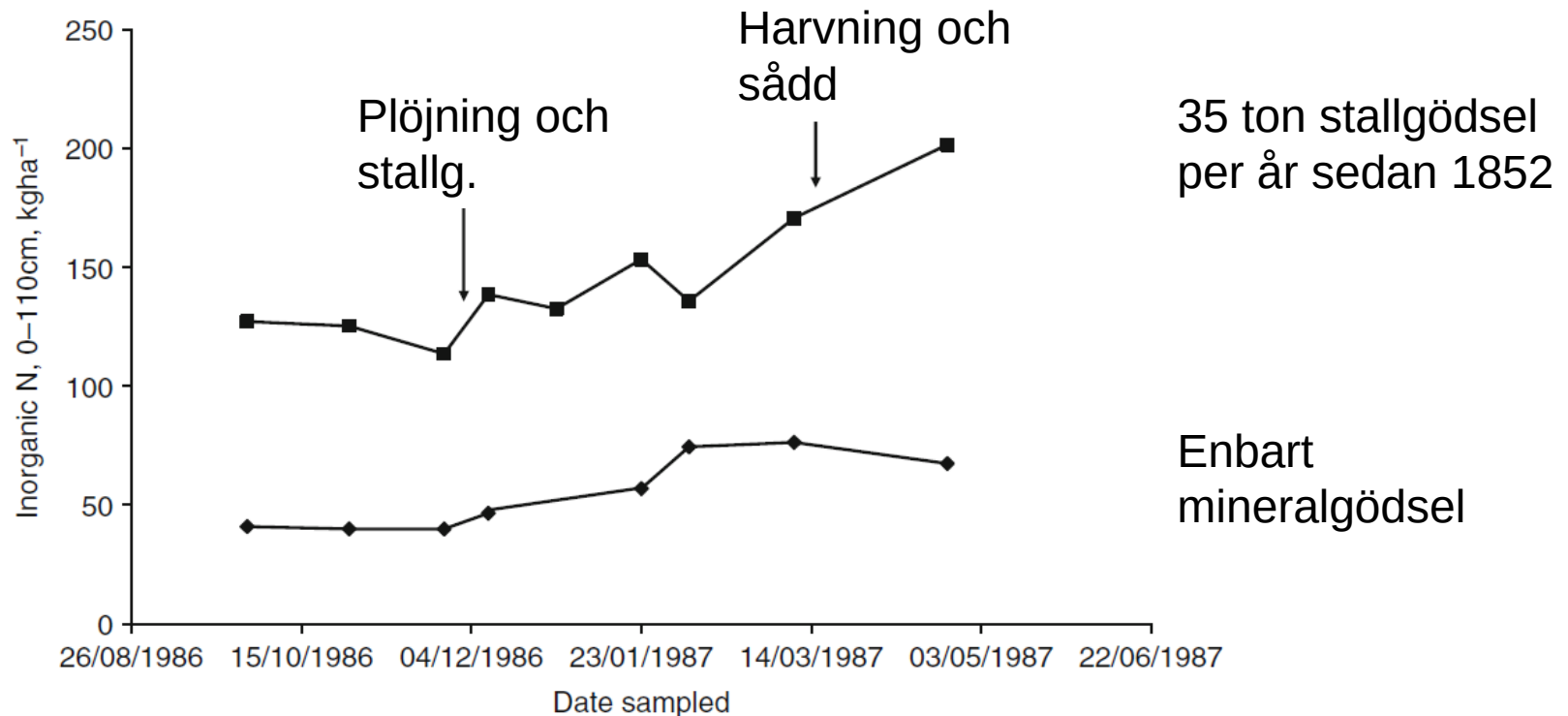
Ett jämvikt ställer in sig efter drygt 150 år.

Ingen ökning av mullen trots stora mängder stallgödsel.

*Johnston et al., 2009*



# Höga multhalter ökar risken för utlakning

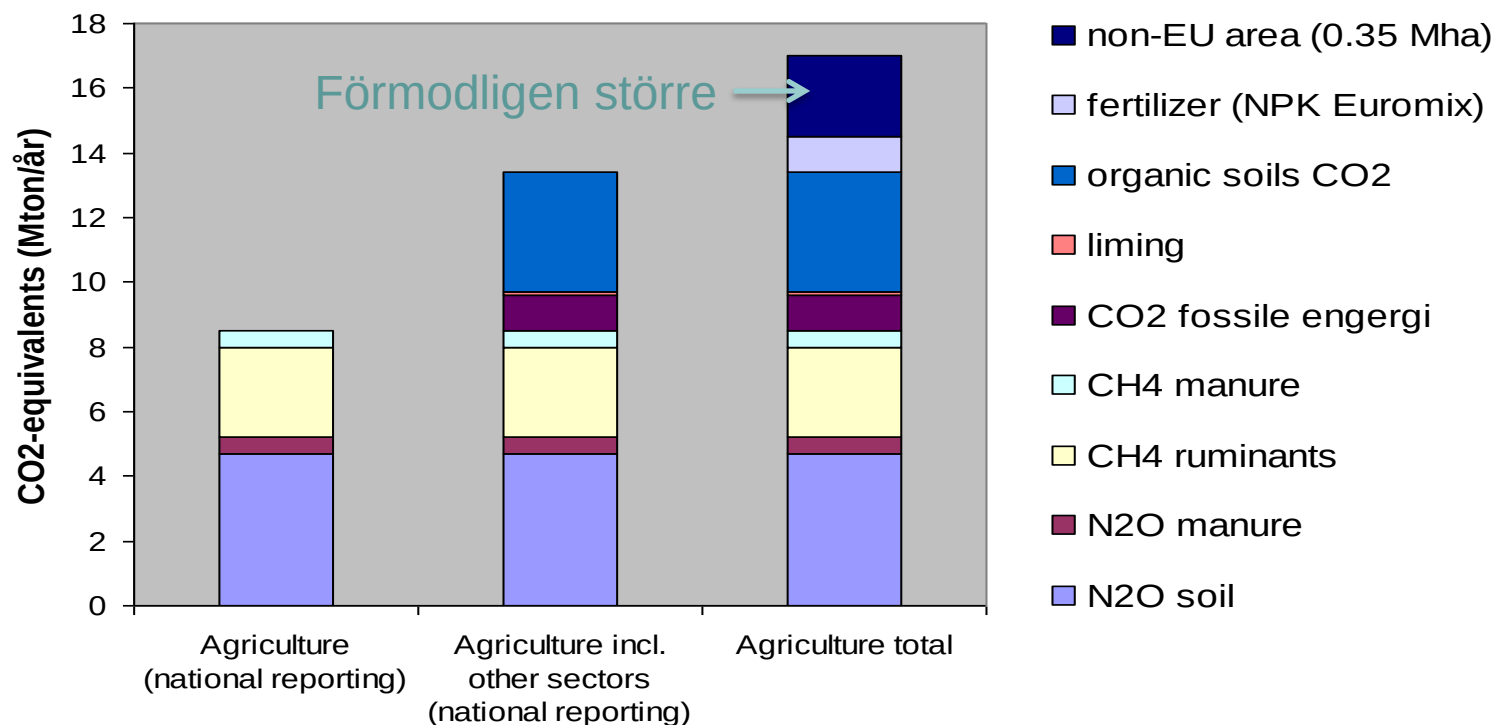


3 gånger så hög multhalt – 3 gånger så höga mängder mineralkväve under vintern - större risk för utlakning och bildning av lustgas

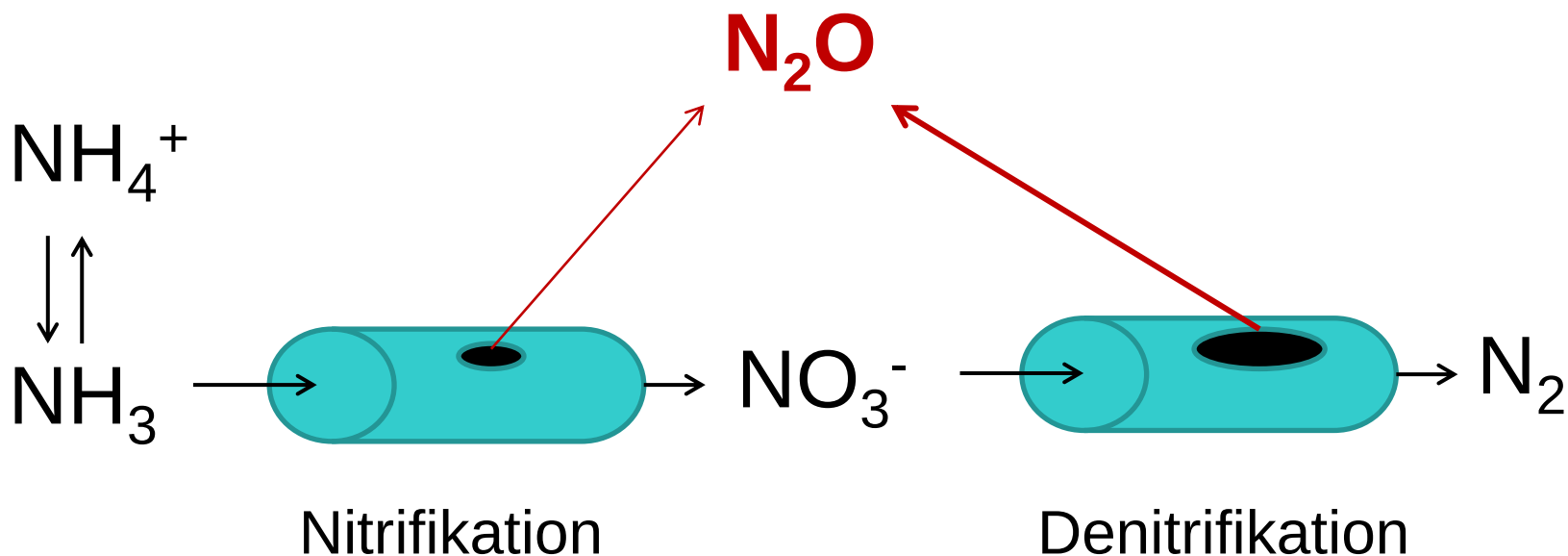
(Data från Hoosfield, Powlson et al, 1989)

# Jordbrukets växthusgasutsläpp

| Gaser            | Jordbrukets andel och källa | Uppvärmningspotential (100 år) |
|------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| CO <sub>2</sub>  | 7% mulljordar, energi, kalk | 1                              |
| CH <sub>4</sub>  | 50% djur                    | 25                             |
| N <sub>2</sub> O | 70% mark, gödsel            | 298                            |



# Bildning av lustgas



Beräkning enligt IPCCs riktlinjer:

## Direkt emission

1% (0,3-3%) av tillfört N som oorganiskt, organiskt gödsel och skörderester

## Indirekt emission

0,75% (0,05-2,5%) av utlakat N

1% (0,2-5%) av  $NO_x$  och  $NH_3$

Svensk rapportering: 0,8% av mineralgödsel

N och 2,5% av organisk N tillförd.

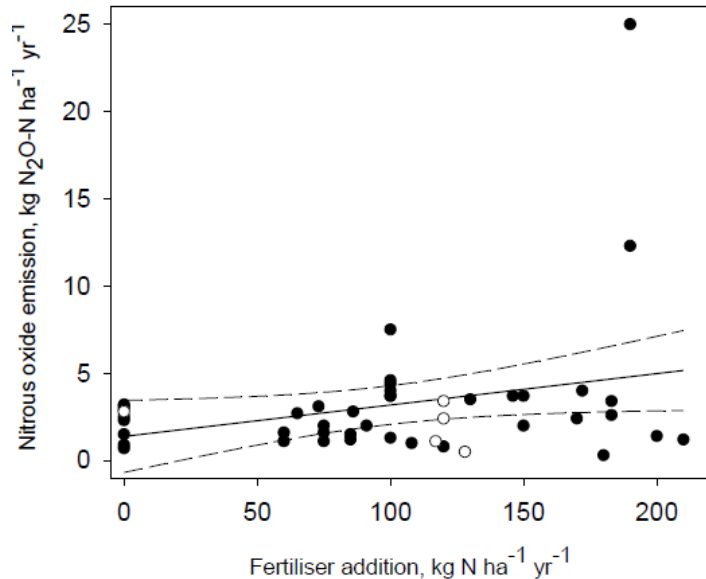
Förutsättningar för denitrifikation:

- Nitrat
- Syrebrist
- Lättillgänglig organiskt material

After Firestone and Davidson 1989

# Lustgas metanalyser

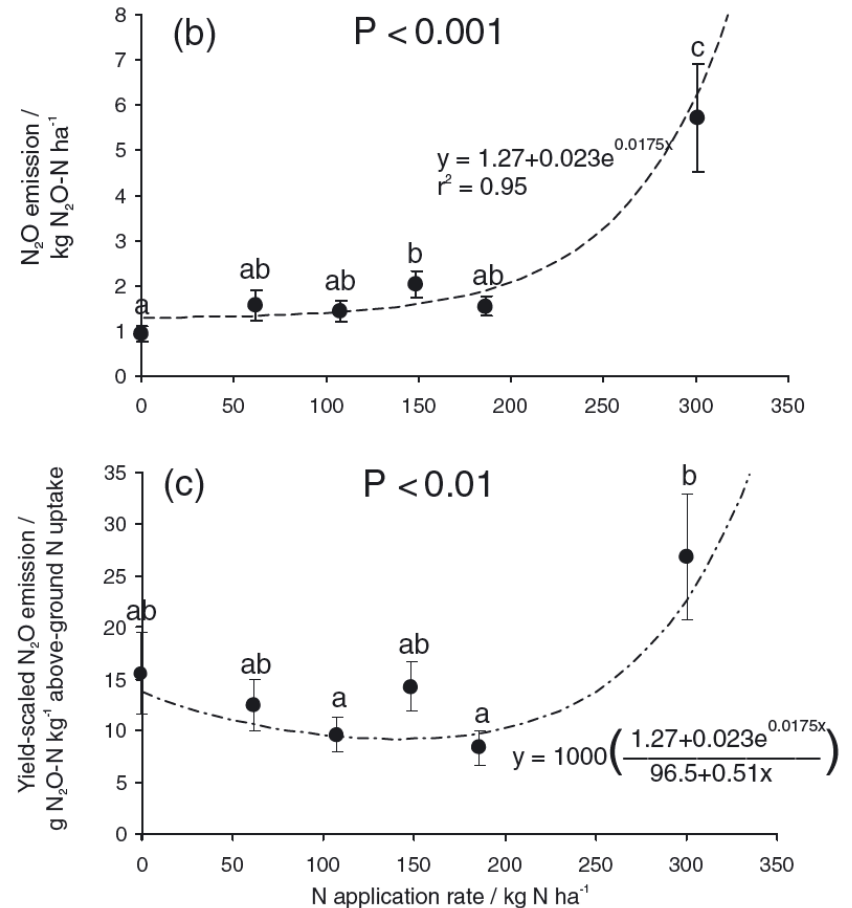
Spannmål och raps, norra  
Europa och Amerika



| Site and year     | Fertiliser addition<br>kg N ha <sup>-1</sup> | Swedish field data <sup>a</sup> |
|-------------------|----------------------------------------------|---------------------------------|
| Mellby, 1996–1997 | 0                                            | 2.5 (1.4–3.7)                   |
| Mellby, 1996–1997 | 120                                          | 2.4 (1.1–3.7)                   |
| Logården, 2005    | 117                                          | 1.1 (0.9–1.3)                   |
| Logården, 2006    | 128                                          | 0.5 (0.4–0.6)                   |

Kasimir Klemetsson & Smith 2011,  
Biogeosciences

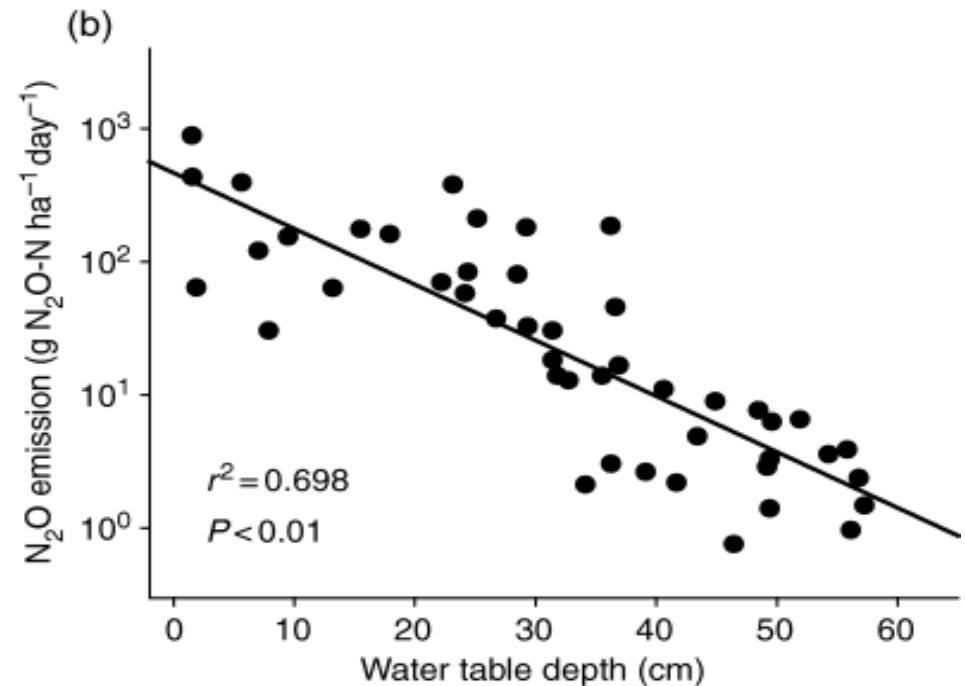
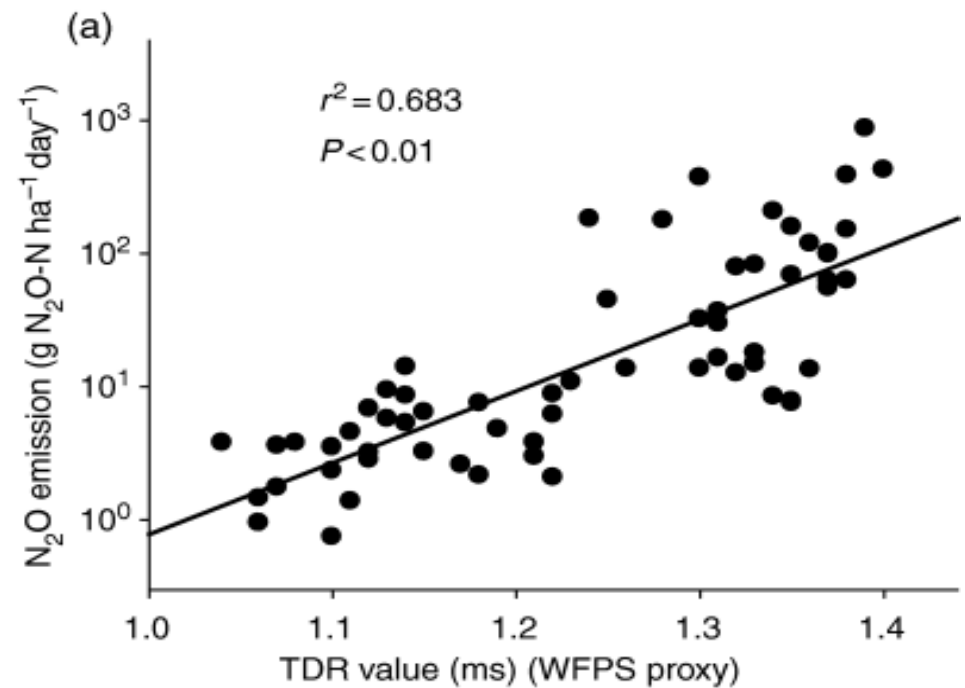
Global



Van Groenigen et al. 2010, EJSS 61:903-913

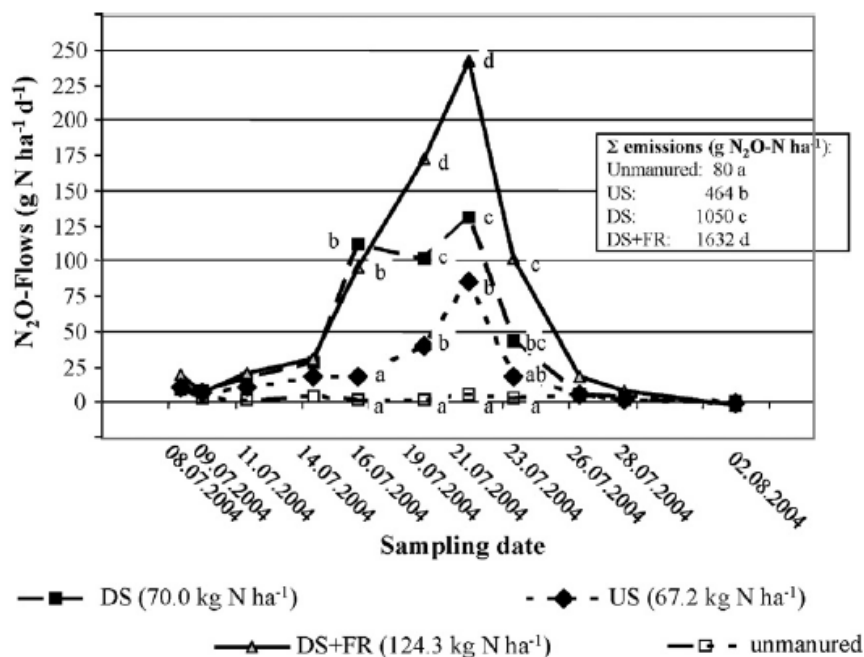


# Lustgasutsläppen ökar vid hög grundvattennivå

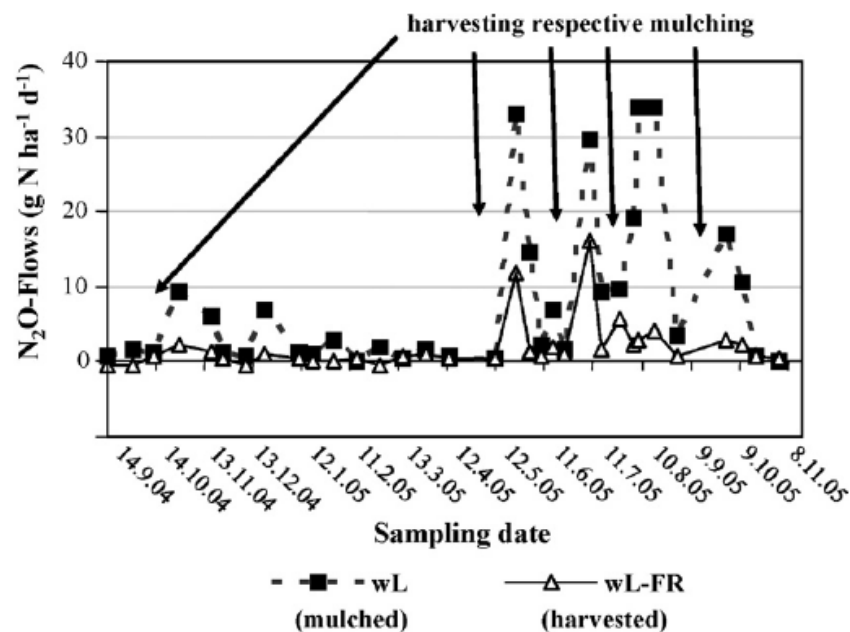


# Lustgastoppar under ett par veckor efter tillförsel av flytgödsel och gröngödsling

## Flytgödsel



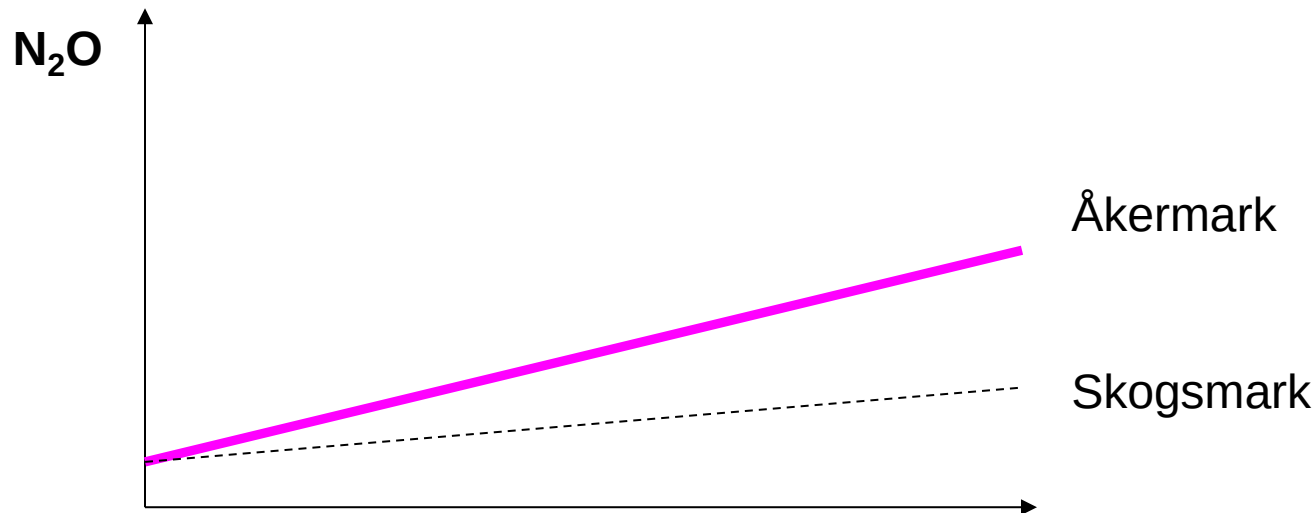
## Gröngödsel



Högre N-giva -> högre N<sub>2</sub>O-flöden

N<sub>2</sub>O-toppar efter gröngödsling

# Kan vi kontrollera N<sub>2</sub>O utsläppen?



Påverkbarhet

Lerhalt

Temperatur

Vattenhalt i marken (dränering, grundvatten)

Lättsmältbar organiskt material

Sjukande pH

N överskott (för höga N givror, organiska gödselmedel – särskilt om C/N är låg)

**Öka kväveeffektiviteten!**

# Sammanfattning

- Bördighet är långsiktig per definition och studeras bäst med hjälp av återkommande karteringar och långliggande försök
- Förfruktseffekter beror på växtföljden som helhet
- Landanvändning, växtföljder och odlingsåtgärder påverkar bördigheten – även i alven
- Växtrötter är effektiva i att bygga mull
- Mullhalten är en av de viktigaste bördighetsfaktorerna
- Stor risk för lustgasutsläpp efter tillförsel av organiskt material med hög kväveinnehåll
- Hög kväveutnyttjande, fungerande dränering och högt pH minskar risken för lustgasavgång
- Långliggande försök behövs för kunna svara på frågor i framtiden som vi ännu inte har ställt.



# Tack för din uppmärksamhet!

