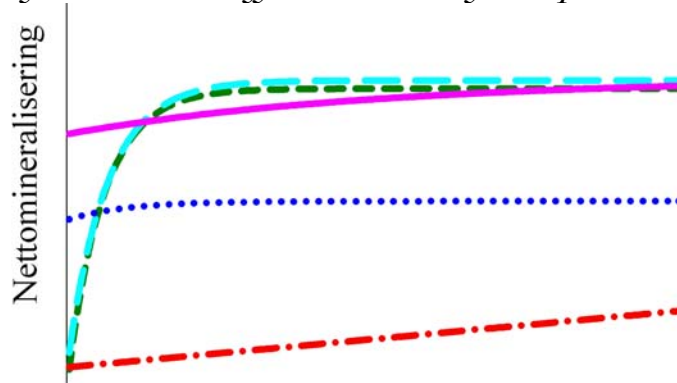


Kvävemineraliseringsförlopp efter gödsling med organiska gödselmedel vid olika tidpunkter

Course of nitrogen mineralisation after application of organic fertilisers at different times of the year



Tid

- . - . - . Nötfastgödsel
- - - - - Vinass
- - - - - Biofer
- — — — — Kycklinggödsel
- Nötflytgödsel

Sofia Delin och Lena Engström

Precisionsodling
2008:1
Skara

ISBN 978-91-85911-72-1 (tryckt)
 ISBN 978-91-85911-73-8 (pdf)

Förord

Försöket i detta arbete planerades och utfördes av Sofia Delin och Lena Engström vid Institutionen för mark och miljö, SLU i Skara under perioden 2004-2006. Arbetet är sammanställt av Sofia Delin och finansierat av SLU's Ekoforsk. Parallellt med dessa försök i fält utfördes även försök på lab av Jon Orvendal. Resultaten från dessa finns presenterade i hans examensarbete (Orvendal, 2007).

Syftet med arbetet var att på ett lättillgängligt sätt åskådliggöra kvävemineraliseringsförloppet efter spridning av några inom ekologisk odling vanligt förekommande organiska gödselmedel. Meningen är att rådgivare ska kunna använda resultaten för att ge lantbrukare vägledning för när de ska gödsla för bästa effekt och hur mycket kväve man kan räkna med blir växttillgängligt under första säsongen från respektive gödselmedel. Man måste dock beakta att detta gäller omedelbart nedbrukad gödsel och att effekten kan bli sämre vid betydande ammoniakförluster eller torka som hindrar att växtnäringen kommer i kontakt med rötterna. Det finns också skillnader mellan olika typer av t.ex. nöt- och kycklinggödsel.

Skara, den 8 oktober 2008

Författarna

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	4
Summary.....	4
Inledning.....	5
Material och metoder.....	5
Gödselmedel.....	5
Inkubation.....	6
Spridningstidpunkter.....	7
Provtagning och kemisk analys.....	8
Dataanalys.....	8
Resultat.....	9
Marktemperatur.....	9
Kvävemineralisering.....	9
Diskussion.....	17
Denitrifikation.....	17
Mineraliseringshastighet och daggrader.....	17
Jämförelser med resultat från andra inkubationer.....	18
Myllning.....	18
Jämförelser med fältförsök.....	19
Utlakningsrisk vid höstspridning.....	19
Referenser.....	20

Sammanfattning

För att åstadkomma ett högt kväveutnyttjande vid gödsling med organiska gödselmedel måste frigörelsen av växttillgängligt av kväve synkroniseras med grödans upptag. För att kunna uppskatta när det organiska kvävet mineraliserats till växttillgängligt kväve efter spridning studerades mineraliseringsförloppet i inkubationer under fältmässiga temperaturförhållanden. De gödselmedel som studerades var Biofer (kött- och benmjöl), nötflytgödsel, nötfastgödsel, kycklinggödsel och Vinass (biprodukt från jästindustrin). Gödsel blandat med jord inkuberades i plastflaskor som placerades i matjorden vid olika tillfällen för att simulera spridning på höst, vårvinter, vid vårsådd och efter grödans uppkomst. Jorden var en måttligt mullhaltig mojord. Flaskor togs upp för analys av $\text{NH}_4\text{-N}$ och $\text{NO}_3\text{-N}$ vid 3-7 tillfällen beroende på spridningstidpunkt fram till sen höst efter växtodlingssäsongens slut. Försöket upprepades under två år. Nettomineraliseringen under det första året blev förmodligen underskattad då mycket tyder på att det blivit syrebrist i flaskorna med denitrifikation som följd. Resultaten från det andra året visar att nötfast- och nötflytgödsel hade en långsam, nästan försumbar nettomineralisering av kväve efter spridning. Fastgödseln hade ett lågt mineralkväveinnehåll från start och spridning på hösten bör därför inte utgöra någon större risk för utlakning än spridning vid något annat tillfälle. Flytgödseln däremot hade ett högt innehåll av mineralkväve från början och bör därför spridas så nära grödans behov som andra omständigheter tillåter. Kycklinggödsel hade också ett höst mineralkväveinnehåll från start, men ytterligare kväve mineraliserades efter spridning. Vinass och Biofer innehöll nästan uteslutande organiskt kväve, men den mineraliserades fort efter spridning. Ungefär 65 % av det totala kväveinnehållet i Biofer, Vinass och Kycklinggödsel var i mineralform inom 30-50 dagar eller 450 daggrader varefter mineraliseringen planade ut. Dessa gödselmedel bör därför spridas senast en månad innan grödan måste ha sitt kvävebehov tillgodosett.

Summary

To achieve high nitrogen use efficiency, the availability of nitrogen from organic fertilisers must be synchronised with crop uptake. In order to estimate when previously unmineralised nitrogen is plant-available in relation to fertilisation time-point, net nitrogen mineralisation was studied in incubations under natural temperature conditions. Organic fertilisers were mixed with soil and incubated in plastic bottles placed in topsoil on different dates throughout the year, simulating fertilisation in autumn, early spring, spring (at sowing) and early summer. The fertilisers studied were meat and bone meal (Biofer), dairy slurry, dairy farmyard manure, chicken manure and a by-product from yeast production (Vinasse). The soil used was a sandy loam from south-west Sweden. Bottles were taken up for analysis of $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ on 3-7 occasions until late autumn after the end of the growing season. The experiment was repeated in two years. The net mineralisation in the first year was probably underestimated, as much indicates that there has been oxygen deficit and denitrification in the bottles during this year. The results from the second year show that dairy slurry and dairy manure had a very slow, almost negligible net nitrogen mineralisation after application. Dairy manure had low initial mineral nitrogen content and application off season should therefore not increase the risk for nitrate leaching compared to other times for application. Dairy slurry on the other hand had large initial mineral nitrogen content and should therefore be applied as close to crop demand as possible. Chicken manure also had a considerable part of mineral nitrogen from the start, but released further mineral nitrogen after application. Vinasse and Biofer had almost no mineral nitrogen from the start but much of the nitrogen mineralised quickly. About 65% of the total nitrogen in Biofer, Vinasse and Chicken manure were in mineral form within 30-50 days or 450 growing degree days (GDD) after which net mineralization ceased.

Inledning

Organiska gödselmedel såsom stallgödsel och restprodukter från livsmedelsindustrin, är en viktig växtnäingsresurs, som om den inte utnyttjas effektivt inom jordbruksproduktionen riskerar att läcka ut i och förorena vattenmiljöer. I ekologiskt lantbruk är man till stor del begränsad till att använda sig av olika organiska gödselmedel för att försörja grödorna med växtnäring. Gödselmedlen bör alltså av både ekonomiska och miljömässiga skäl utnyttjas så effektivt som möjligt för maximalt skördeutbyte och minimerade växtnäingsförluster till omgivande miljö.

Speciellt svårt är det att få ett bra utnyttjande av kvävet, då dess tillgänglighet för växterna måste synkroniseras med växtens kväveupptag för bästa möjliga verkan på skörd och kvalitet och minsta möjliga förlust genom utlakning och denitrifikation. Kvävet i organiska gödselmedel finns dels bundet i organiska föreningar och dels som oorganiskt ammoniumkväve. Ammoniumkvävet är växttillgängligt direkt efter spridning, medan den organiska fraktionen måste mineraliseras innan den blir växttillgänglig. Ju större andel kväve som är i organisk form, desto viktigare är det att anpassa tidpunkten för gödslingen så att kvävet blir växttillgängligt när grödan kan ta upp kväve.

Genom att kartlägga mineraliseringsförloppet under fältbetingelser kan man bedöma när det ännu inte mineraliserade kvävet borde bli växttillgängligt i förhållande till spridningstidpunkten. Detta behövs för att avgöra när man bör sprida gödseln för att få maximal växtnäringseffekt. Gödselmedel som är intressanta att studera för ekologisk odling är t.ex. hemmaproducerad nötgödsel (både fast- och flyt-) samt inköpt kycklinggödsel, Biofer (kött- och benmjöl) och Vinass (restprodukt från jästindustrin).

Detta projekt syftar till att genom inkubation av gödsel i plastflaskor nedgrävda i fält undersöka, hur snabbt och i vilken omfattning kvävemineraliseringen sker i marken under naturliga temperaturförhållanden efter olika spridningstidpunkter. Syftet är att man sedan med utgångspunkt från detta, jämte andra synpunkter såsom ammoniakavgång och markens bärighet, ska kunna bedöma lämpligaste spridningstidpunkt och förväntad kväveverkan av respektive gödselslag, både med hänsyn till växttillgängligt kväve under växtsäsongen och med risk för utlakning under vintern.

Material och metoder

Gödselmedel

De olika gödselmedel som studerades var nötfastgödsel, nötflytgödsel, kycklinggödsel, Biofer (kött- och benmjöl) och Vinass (biprodukt från jästindustrin). Fastgödsel från nöt innehåller en större andel organiskt kväve än flytgödsel från nöt (tabell 1). Kycklinggödseln som använts i försöket har drygt hälften av totalkvävet i organisk form, varav förmodligen åtminstone hälften förmodligen var i form av urinsyra. Kycklinggödseln innehöll en del kutterspån, vilket förmodligen påverkat C/N-kvoten, som annars kan vara betydligt lägre (Salomon m.fl., 2006). Vinass är en biprodukt från jästtillverkning och utgörs av en trögflytande vätska som innehåller ca 4 % kväve varav mycket lite är ammoniumkväve (tabell 1). Biofer som är en sammansättning av framför allt kött- och benmjöl tillverkas av Gyllebo gödning AB och finns i flera varianter med olika sammansättning i antingen pellets eller pulverform. Biofer 7-9-0 som använts i detta försök är i pulverform och dess kväveinnehåll ligger runt 7 % och är endast i organisk form.

Tabell 1. Invägda gödselmängder och gödselmedlens kväveinnehåll

Gödselmedel	Ts, %	Total-N (kg ton ⁻¹)	NH ₄ -N (kg ton ⁻¹)	C/totalN*	C/organiskt N*
Nötfastgödsel	15	4,3	0,7	15	18
Nötflytgödsel	9	2,9	1,3	23	42
Kycklinggödsel	35	20	9,1	13	24
Biofer	92	67	0	4	4
Vinass	64	35	2,0	7	7

* kol är uppskattat utifrån askhalt

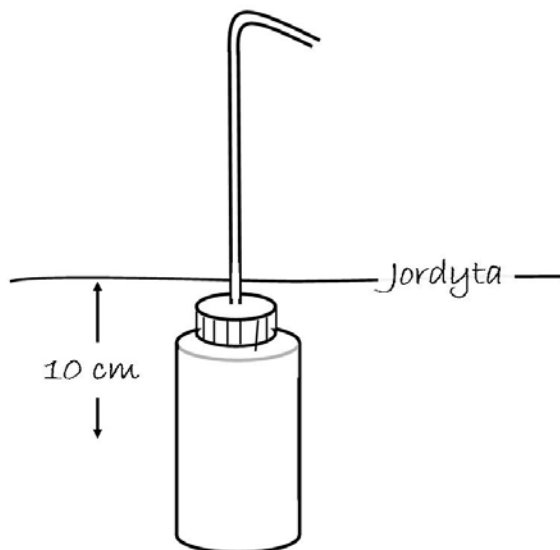
Inkubation

Kvävetes nettomineralisering i marken efter tillförsel av de olika organiska gödselmedlen studerades genom inkubation under naturliga temperaturförhållanden enligt en metod som tidigare testats av Helander och Lindén (2002) samt Lindén m. fl. (2003). Försöket upprepades under två säsonger, där den första sträckte sig från hösten 2004 till hösten 2005 och den andra från hösten 2005 till hösten 2006. Vissa modifieringar i gödselmängder och jordens fuktighet gjordes inför den andra omgången för att minska risken för denitrifikation. Jord och gödsel blandades enligt tabell 2 till totalt 400 g, i syfte att motsvara en gödslingsmängd av 100 kg totalkväve per ha. Jorden utgjordes av måttligt mullhaltig, lerig mojord, som hämtades från Hushållningssällskapets försöksgård Götala utanför Skara. Jorden sållades med 4 mm såll och vatten tillsattes för att uppnå en vattenhalt på ca 18 % av ts eller 50 % av vattenhållande förmågan (WHC) det första året respektive 15 % av ts eller 40 % av WHC det andra året. WHC mättes och beräknades enligt Jansson (1958). Mängden gödsel minskades mellan första och andra året, då den större mängden gödsel som användes första året baserades på en felberäkning. Den större mängden visade sig olämplig för flytgödsel p.g.a. den höga vattenhalten, som därför minskades redan första året. Mängden gödsel det andra året motsvarade en giva på 100 kg N-ha där gödseln blandats med ett 5 cm tjockt jordlager.

Tabell 2. Invägda gödselmängder

Gödselmedel	Mängd år 1 (g)	Mängd år 2 (g)
Nötfastgödsel	80,9	12,3
Nötflytgödsel	17,9	17,9
Kycklinggödsel	20,7	2,7
Biofer	6,4	0,81
Vinass	12,1	1,5

Jordblandningarna stoppades i plastflaskor som placerades i matjorden vid olika tänkta tidpunkter för gödselspridning. Flaskorna var försedda med ett böjt rör som stack upp ur marken (figur 1) för att tillåta luftväxling utan att släppa in nederbörd och med en begränsad avdunstning. Flaskorna var placerade i ett växtbestånd, eftersom marktemperaturen påverkas av om det finns en växande gröda. För att åstadkomma växtbeståndet såddes vårkorn in för hand på ytan under våren 2005. Efterföljande år bestod växtbeståndet av ogräs och spillsäd. Temperaturen i marken mättes kontinuerligt under hela försöksperioden med loggrar nedgrävda i marken.



Figur 1. Inkubationsflaskornas placering i marken.

Spridningstidpunkter

Plastflaskor placerades ut vid 2-4 tänkta tidpunkter för gödselspridning, beroende på gödselslag (tabell 3). Vid varje tänkt tidpunkt för spridning sattes dessutom ett led med jord utan iblandning av gödsel ut för att identifiera hur mycket av det mineraliserade kvävet som härrör från jorden. Vart och ett av de 18 leden (tabell 3) hade tre upprepningar.

Tabell 3. Försöksplan avseende inkubation

Gödselmedel	Spridningstidpunkter			
	höst	vårvinter	vårsådd	i växande gröda
Bara jord (kontroll)	x	x	x	x
Nöt, fastgödsel	x	x		
Nöt, flytgödsel		x	x	x
Köttbenmjöl		x	x	x
Vinass	x	x	x	
Kycklinggödsel	x	x	x	

Provtagning och kemisk analys

Kvävemineraliseringsförloppet studerades ända fram till sen höst för att kunna bedöma utlakningsrisk i respektive led. Flaskorna togs ut för analys med avseende på $\text{NH}_4\text{-N}$ och $\text{NO}_3\text{-N}$ vid tre till sju tillfällen beroende på spridningstillfälle. Provtagning av flaskorna skedde 1) vid höstgödsling, 2) före vinterns ankomst, 3) vid gödsling under vårvinter, 4) vid gödsling på våren, 5) vid axgång, 6) vid avslutad kväveupptagning hos grödan och 7) sen höst (november) för att studera höstmineralisering och därmed risken för kväveutlakning. Provtagning gjordes alltid vid starterna av de olika inkubationsomgångarna för att få ett mått på utgångsläget i alla led. Efter provtagning hölls jordproverna frusna fram till analystillfället. Inför analys maldes proverna i fruset tillstånd med mortel, extraherades med kaliumklorid och analyserades med en spektrofotometer (TrAAcs800) enligt Mulvaney (1996).

Dataanalys

Mineralkväveinnehållet (ammonium + nitrat) respektive nitratinnehållet i de olika leden vid de olika provtagningstillfällena subtraherades med motsvarande innehåll i kontrollerad med bara jord. Differenserna i mineralkväve mellan gödslade led och kontrollerad plottades sedan i förhållande till tillsatt mängd totalkväve i varje flaska mot datum, för att åskådliggöra hur mycket kväve som frigjorts från gödseln vid olika tidpunkter efter de olika spridningstillfällena. Mängden mineralkväve vid den tänkta tiden för axgång jämfördes mellan olika spridningstidpunkter med variansanalys. Differenserna i mineralkväve och nitratkväve mellan gödslade led och kontrollerad plottades också mot antal dagar och daggrader efter spridningstillfället. Nitratmängderna vid senhöst och vårvinter användes för att bedöma utlakningsrisk. För att få tillräckligt stora dataserier för att kunna anpassa kurvor till mineralkvävemängderna mot dagar och daggrader efter spridning, slogs serierna för de olika spridningstidpunkterna för respektive gödselslag samman. Daggrader beräknades genom att summera daglig medeltemperatur som översteg 0°C . Med hjälp av mjukvaran Sigma Plot (Systat software inc.) anpassades exponentiella ekvationer med tre parametrar (ekvation 1) till punkterna. Ekvationerna beskriver således nettomineralisering av kväve i tillägg till initialt mineralkväve, enligt ekvation 1, där minN är mineralkväve från tillsatt gödsel efter t dagar eller daggrader, minN0 är mineralkväve från start, minNm är mineraliserbart kväve och k en konstant som beror av mineraliseringshastigheten för det aktuella gödselmedlet.

$$\text{minN} = \text{minN0} + \text{minNm}(1 - \exp(-kt))$$

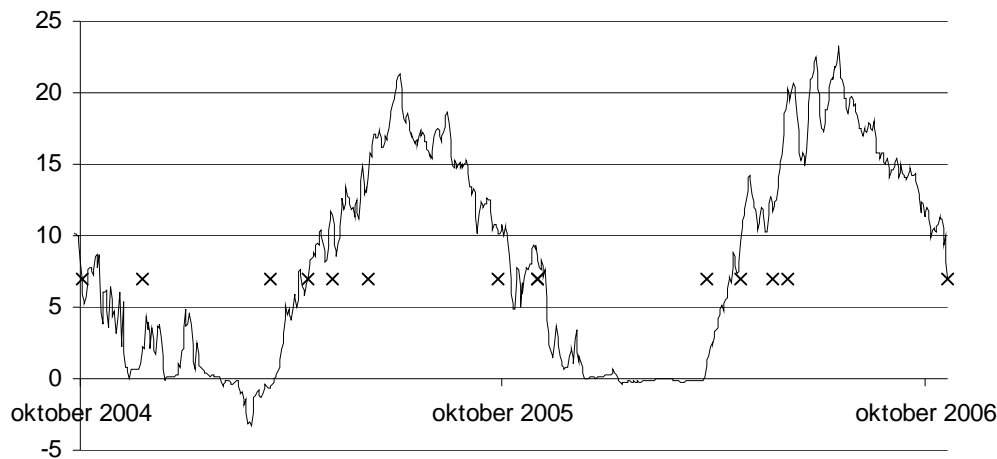
ekvation 1

Storleken på konstanten för mineraliseringshastighet (k) och det potentiellt växttillgängliga kvävet, definierat som $[\text{minN0} + \text{minNm}]$, jämfördes statistiskt för de gödselmedel som hade en nettomineralisering av betydelse. Kvadratsumman för en reducerad modell, med en gemensam konstant för mineraliseringshastighet (k) jämfördes med kvadratsumman för en fullständig modell med olika värden på k för varje enskilt gödselmedel. Hypotesen med ett gemensamt värde för k testades med ett F-test (Piegorisch and Bailer, 2005, s. 11), för vart av åren. Hypotesen med ett gemensamt värde för $[\text{minN0} + \text{minNm}]$ testades sedan med samma metod.

Resultat

Marktemperatur

Marktemperaturen varierade mellan -4 och $+20^{\circ}\text{C}$ under försöksperioden (figur 2). Första vintern var det mestadels barmark vilket kan förklara den större variationen i marktemperatur än andra året, då marken var täckt av snö under en lång period som varade ända till slutet av mars. Flaskorna som skulle sättas ut under vårvintern det första året, placerades istället i klimatskåp med 0°C under första veckan, då det var problem att gräva ner flaskorna på ett bra sätt i den frusna marken. Däremot var det inget problem att ta upp de flaskor som skulle provtas.

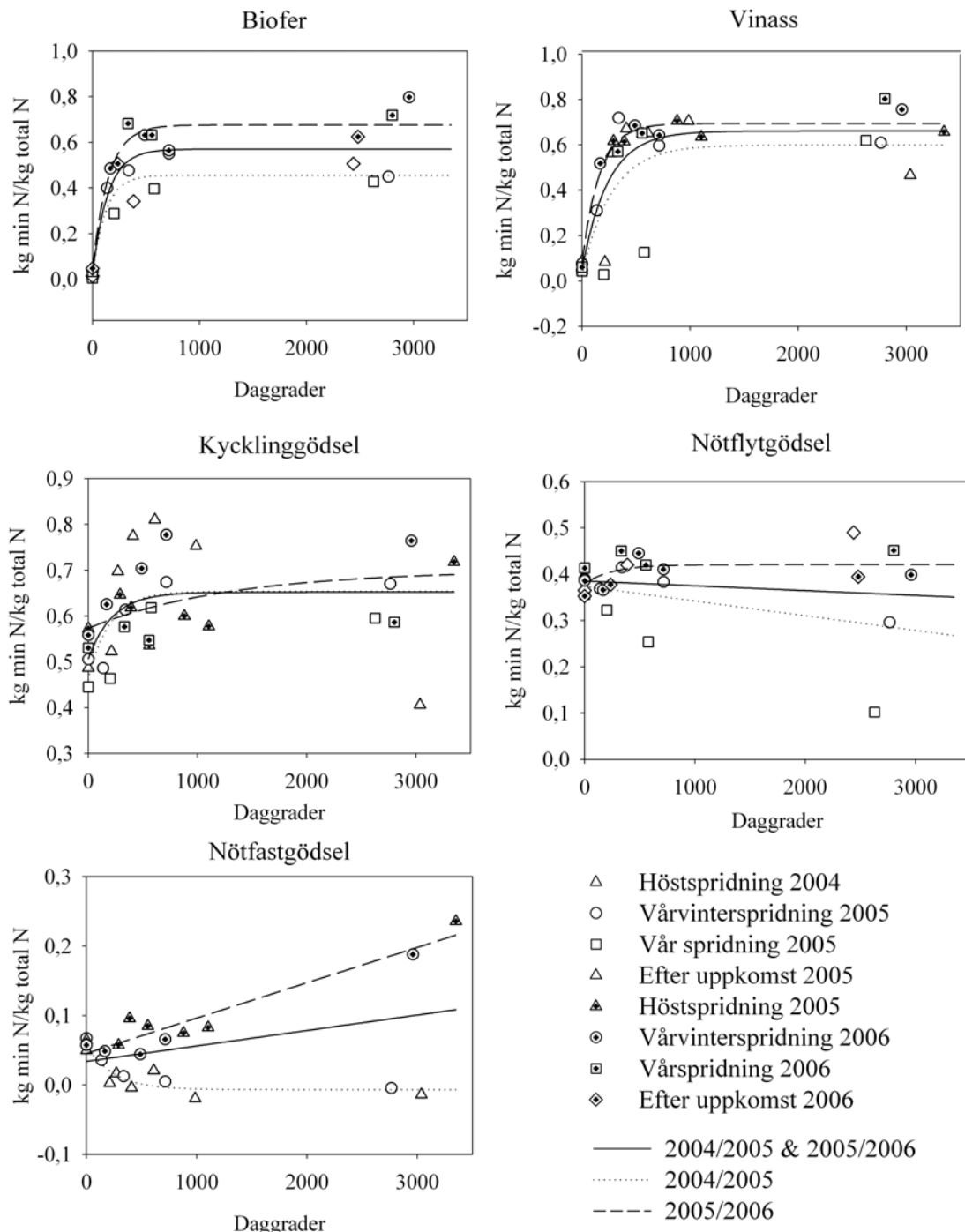


Figur 2. Jordtemperatur under försöksperioden, där x anger provtagningstillfällena.

Kvävemineralisering

Skillnader mellan år

Den uppmätta nettomineraliseringen av kväve skilde sig mellan år, vilket visade sig i de funktioner som anpassats till mineralkvävemängd efter olika antal daggrader efter gödsling med olika gödselmedel (figur 3). Nettomineraliseringen gick snabbare eller blev högre och var mer konsekvent mellan spridningstillfällena under andra året än det första (figur 3), då den förmodligen allt för stora mängden gödsel som tillförts varje flaska kan ha orsakat syrebrist och denitrifikation (se vidare i diskussionen).

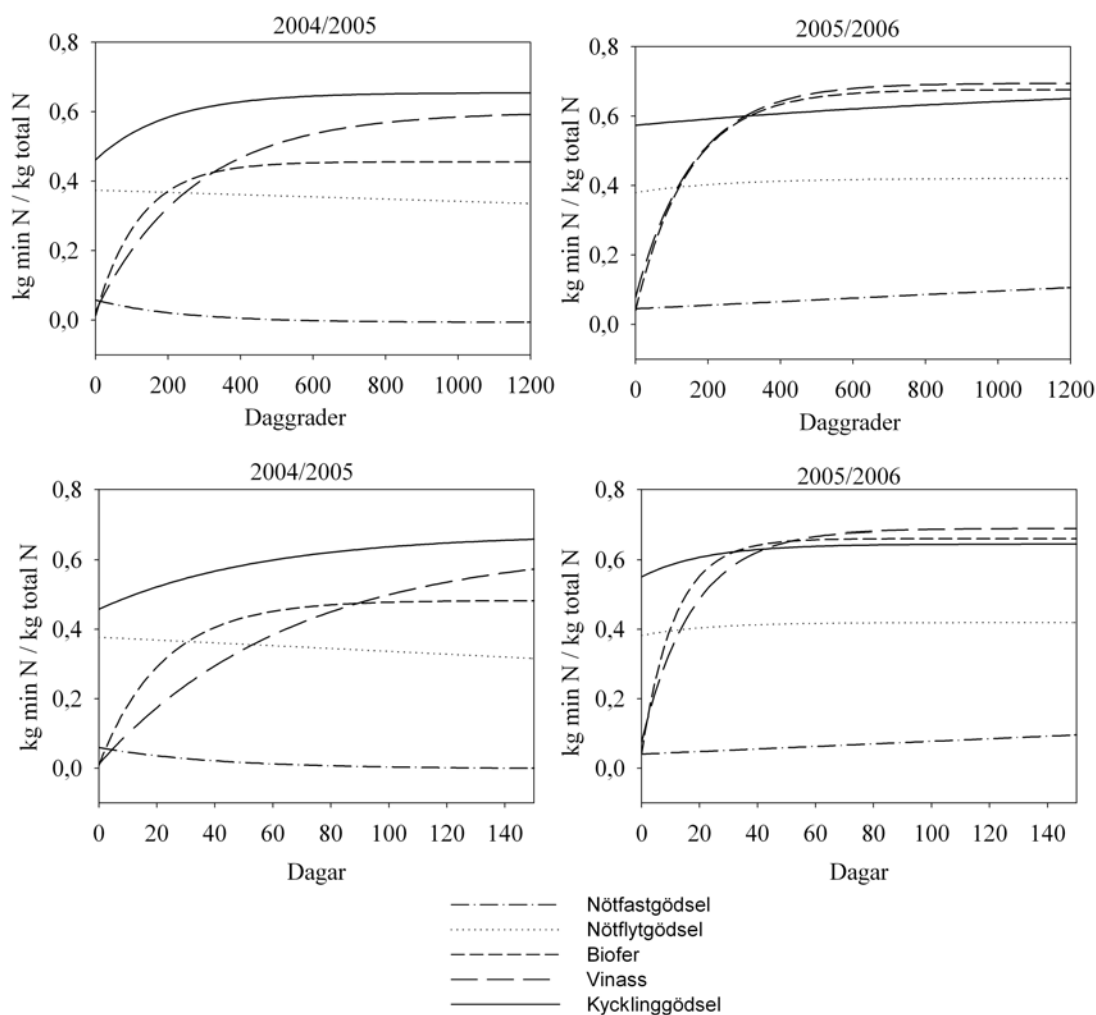


Figur 3. Mineralkvävemängd efter olika antal daggrader efter de tänkta spridningstillfällena

Skillnader mellan gödselmedel

För att bättre åskådliggöra skillnader och likheter mellan olika gödselmedel visas de anpassade funktionerna från olika gödselmedel i samma diagram i figur 4. Funktioner anpassades både till kväve-mineraliseringsdata som plottats mot antal dagar efter spridningstillfället och mot daggrader (figur 4). Vinass, Biofer och kycklinggödsel har en signifikant mineralisering båda åren. Det potentiellt växttillgängliga kvävet, alltså det som antingen var i mineralform vid spridningstillfället plus det som därtill mineraliserar inom växtsäsongen

$[\min N_o + \min N_m]$, uppgick 2005/2006 till mellan 65-70% av total tillförd mängd kväve för de tre gödselmedlen, medan motsvarande siffror 2004/2005 var något lägre (tabell 4). Nöt-fastgödseln och nötflytgödseln visar däremot mycket små förändringar i mineralkväve under båda åren (figur 4). Det potentiellt växttillgängliga kvävet motsvarar därmed ungefär den mängd mineralkväve som redan finns tillgänglig vid gödslingstillfället (tabell 4). Enligt resultaten 2004/2005 var nettomineraliseringen negativ, och 2005/2006 motsvarade den bara ett fåtal procent av gödselns totala kväveinnehåll. När data plottas mot antal dagar tycks det vara en skillnad mellan Biofer och Vinass i mineraliseringshastighet, men denna minskar om data istället plottas mot daggrader. Det fanns ingen statistiskt signifikant skillnad i vare sig mineraliseringshastighet ($p = 0,63$ (2004/2005) och $0,52$ (2005/2006)) eller potentiellt mineraliserbart kväve ($p=0,11$ (2004/2005) och $0,88$ (2005/2006)) mellan kycklinggödsel, Biofer och Vinass (tabell 4).



Figur 4. Mineralkvävemängd efter olika antal dagar respektive daggrader efter de tänkta spridningstidpunkterna under åren 2004/2005 respektive 2005/2006 enligt anpassade exponentiella funktioner.

Tabell 4. Mineralkvävemängd vid start ($minN_0$), potentiellt växttillgängligt kväve ($minN_0 + N_0$) och hastighetskonstant (k) för de olika gödselmedlen under de två åren, enligt de exponentiella ekvationer [$minN = minN_0 + N_0(1 - \exp(-kt))$] som beskriver mineralkväveaccumulation ($minN$) beroende av tid (t) (figur 3).

Gödselmedel	År	Initial N	Potentiellt växttillgängligt N	Mineraliseringskonstant
Biofer	2004/2005	0,013	0,46	0,0083
	2005/2006	0,04	0,68	0,0068
Vinass	2004/2005	0,025	0,60	0,0037
	2005/2006	0,078	0,69	0,0062
Kycklinggödsel	2004/2005	0,46	0,65	0,0051
	2005/2006	0,57	0,70	0,00078
Nötflytgödsel	2004/2005	0,38	0,38	0,0000012
	2005/2006	0,38	0,42	0,043
Nötfastgödsel	2004/2005	0,059	0,047	0,024
	2005/2006	0,040	0,12	0,0000044

Enligt mineraliseringsfunktionerna (figur 3 och 4 samt tabell 4) var 95 % av det potentiellt växttillgängliga kvävet i mineralform efter ca 450 daggrader för Biofer och Vinass under det andra året, vilket t.ex. motsvarar 45 dagar med 10°C (tabell 5).

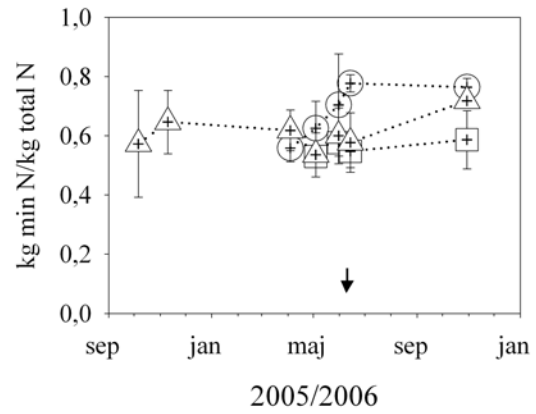
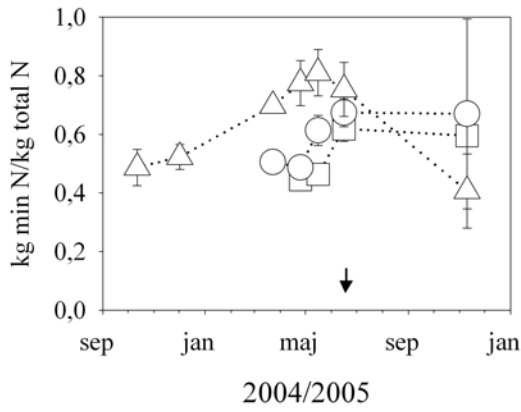
Tabell 5. Antal daggrader och beräknat antal dagar med 10°C efter spridning då 95 % av det växttillgängliga kvävet är omvandlat till mineralform enligt mineraliseringsfunktionerna i figur 3

Gödselmedel	År	Daggrader	Dagar (daggrader/10)
Biofer	2004/2005	357	36
Biofer	2005/2006	432	43
Vinass	2004/2005	801	80
Vinass	2005/2006	462	46
Kycklinggödsel	2004/2005	349	35
Kycklinggödsel	2005/2006	1669	167

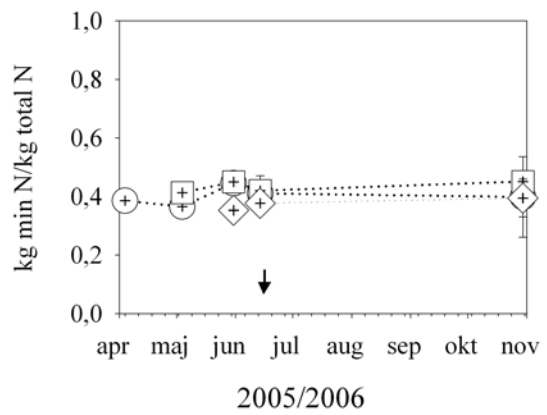
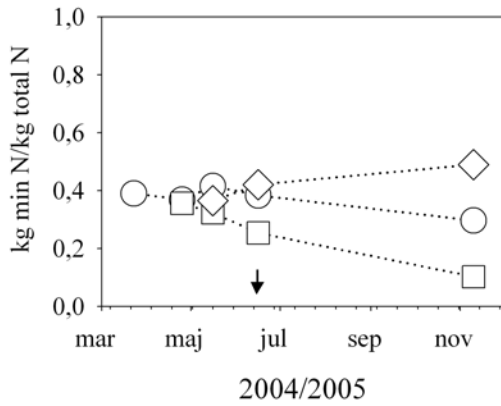
Jämförelse mellan spridningstidpunkter

Eventuella skillnader i mineraliserat kväve vid axgång, då det mesta av kvävet bör ha blivit växttillgängligt för att komma grödan tillgodo, antyder vilka gödslingstidpunkter som ger bäst möjlighet till mycket kväve till en stråsädesgröda (figur 5). Under året 2004/2005 gav spridning av Vinass på hösten och tidig vår signifikant mer ackumulerat mineralkväve vid den tänkta tiden för axgång än spridning vid vårsådd ($LSD_{0,05}=24\%$). Däremot fanns inga signifikanta skillnader mellan spridningstidpunkter av Vinass 2005/2006 ($LSD_{0,05}=22\%$). För Biofer gav tidig vår signifikant mer mineralkväve vid axgång än senare spridning under 2004/2005 ($LSD_{0,05}=13\%$), medan både tidig vår och spridning vid vårsådd gav signifikant högre värden vid axgång än spridning efter uppkomst under 2005/2006 ($LSD_{0,05}=15\%$). Under 2004/2005 fanns en tendens att ju tidigare gödsling med kyckling

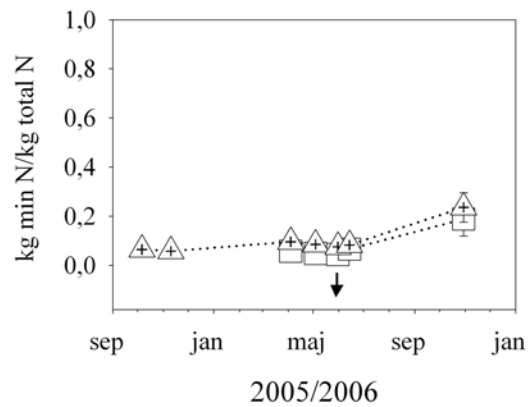
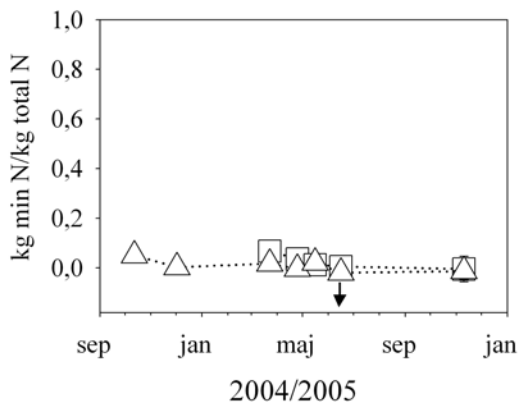
Kycklinggödsel

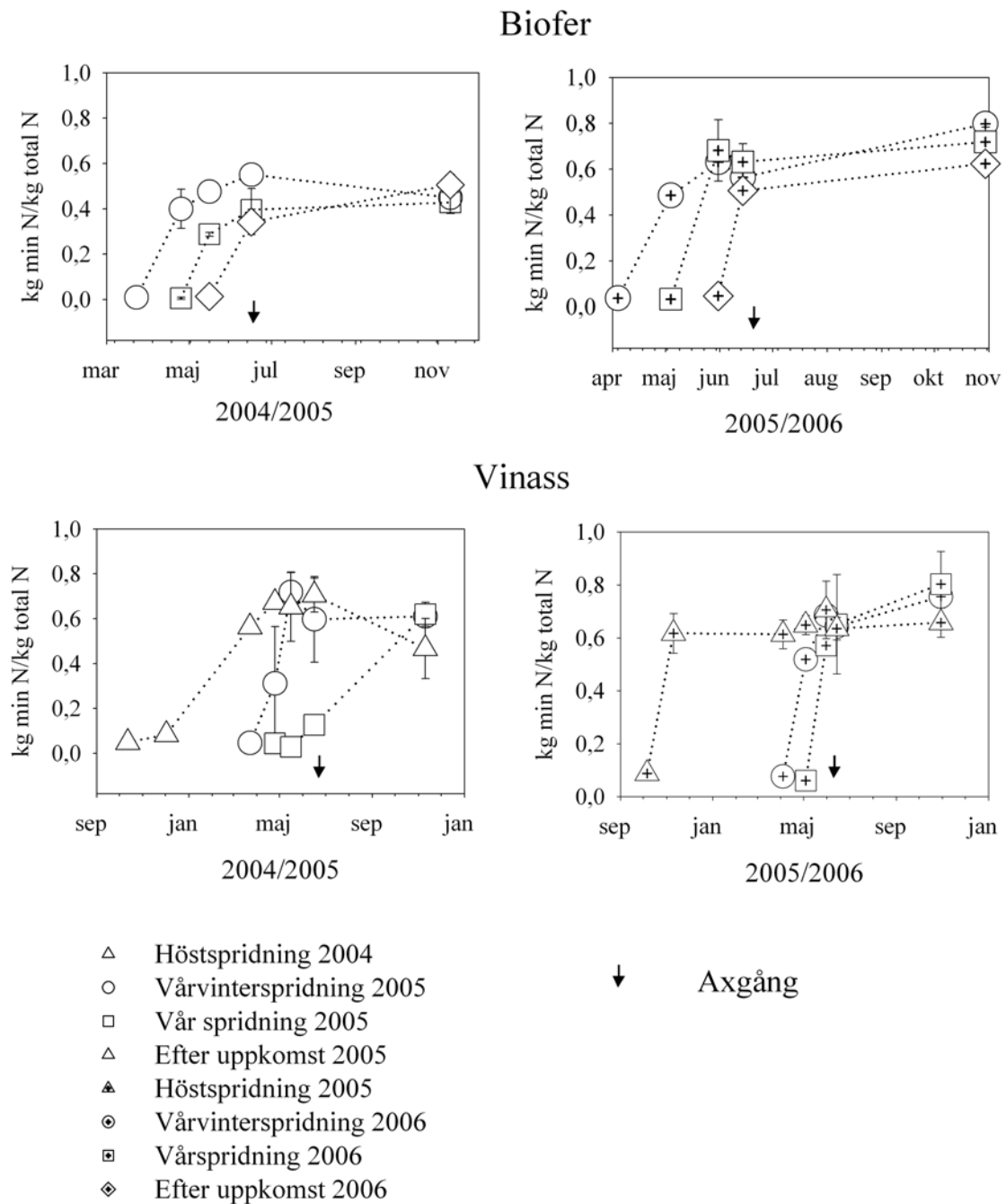


Nötflytgödsel



Nötfastgödsel



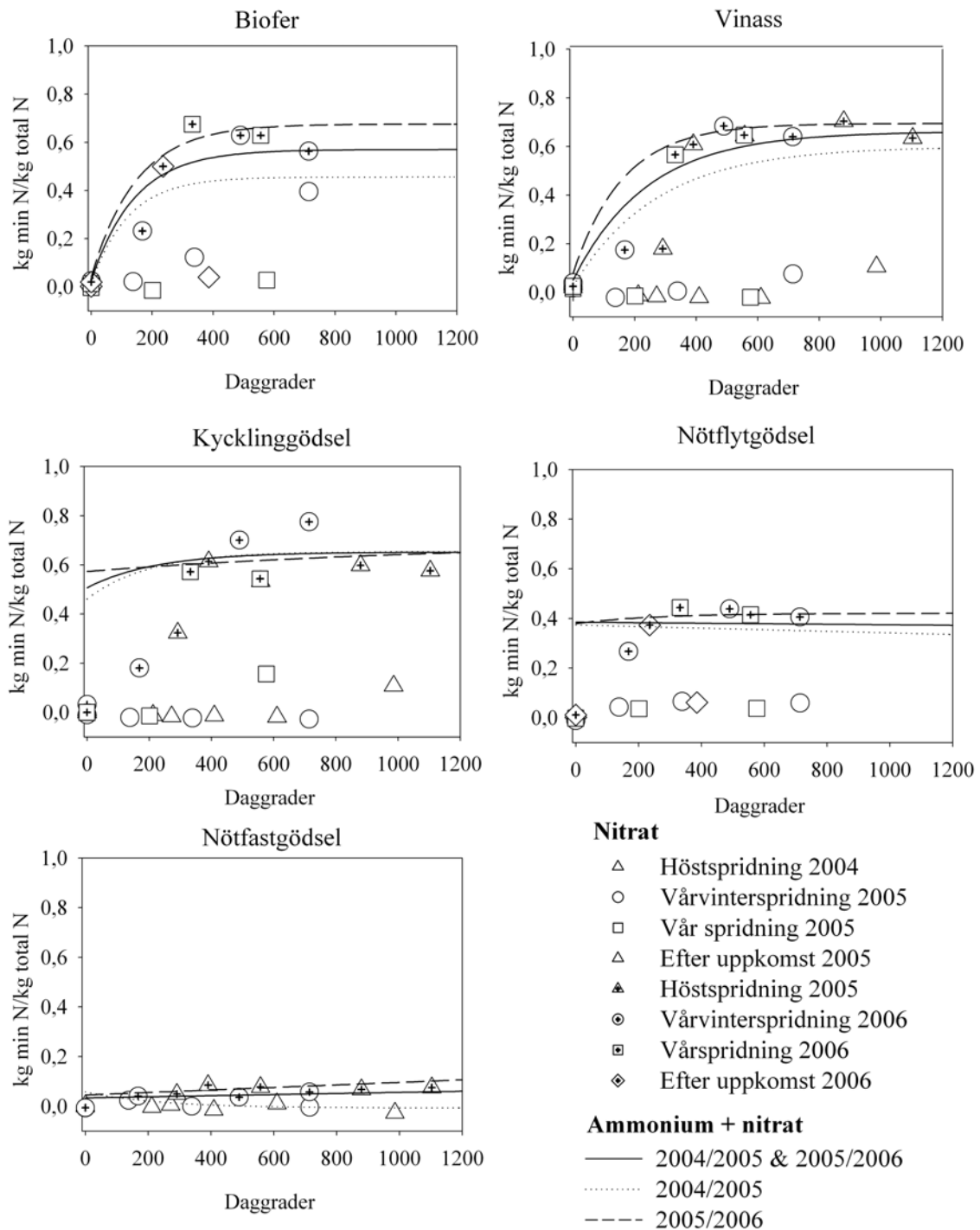


Figur 5. Mineralkvävemängd i relation till tillförd mängd totalkväve med gödselmedlen vid olika datum.

gödsel, desto mer mineralkväve vid axgång ($LSD_{0,05}=13\%$). Resultaten från det andra året 2005/2006 var mer svårtolkade, och eventuella skillnader tycktes mer bero på felkällor såsom skillnader i gödselegenskaper mellan spridningstillfällena som i sin tur kan ha orsakats av att vissa delprov inte varit representativa (figur 5). Nettomineraliseringen av både nötfastgödsel och nötflytgödsel var nästan försumbara och därmed fanns inga signifikanta skillnader mellan de olika spridningstillfällena.

Ammonium- och nitratkväve på senhösten

Tre av gödselmedlen spreds på hösten, nämligen Vinass, kycklinggödsel och nötfastgödsel. Ammonium- och nitratkväve mättes i senhösten för att kunna bedöma utlakningsrisk. Den sammanlagda mineralkvävemängden på senhösten efter höstspridning av Vinass var låg det första året (2004/2005), men hög det andra året (2005/2006) (figur 5). Kycklinggödsel hade relativt hög mineralkvävemängd från början, och bidrog därmed med höga mineralkvävemängder på senhösten under båda åren (figur 5). Nitratmängderna var dock fortfarande ganska låga på senhösten 2005/2006 för både Vinass och kycklinggödsel, men det mesta av ammoniumkvävet var i nitratform vid provtagningstidpunkten på vårvintern (figur 6), vilket indikerar fortsatt nitrifikation under vintern. Nötfastgödsel hade låga mineralkvävemängder från början och en mycket låg om ens positiv nettomineralisering under hösten (figur 5) och bidrog därmed inte med några ansevärda mängder utlakningsbart kväve efter höstspridning.



Figur 6. Nitratkvävmängd (punkter) och total mängd mineralkväve (linjer) efter olika antal daggrader efter de tänkta spridningstidpunkterna

Diskussion

Denitrifikation

Resultaten skiljde mellan åren, då nettomineraliseringen blev lägre och/eller långsammare i medeltal för alla gödselmedel under 2004/2005. En tänkbar orsak till detta kan vara en högre denitrifikation 2005, som i sin tur skulle kunna förklaras av högre gödselmängder och fuktigare jord detta år. I försöket 2004/2005 användes en betydligt större gödselmängd i alla led utom det med flytgödsel. En större gödselmängd innebär större omsättning av organiskt material där mer vatten bildas och mer syre går åt. Både hög vattenhalt och låg syrehalt i flaskorna kan orsaka syrebrist som leder till denitrifikation. Detta förklarar ju inte skillnaden mellan år i flytgödselledet, eftersom samma mängd gödsel användes båda åren i just detta led. En annan skillnad mellan åren är att jorden var något torrare 2006, 40 % av WHC mot 50 % 2005. Den rekommenderade vattenhalten är dock 60 %, så ingen av dessa vattenhalter kan betecknas som särskilt hög. Men det märktes när man tog upp flaskorna att leden med nötgödsel (både flytgödsel och fastgödsel) som stått länge under 2004/2005 blivit väldigt blöta. Detta förekom inte lika tydligt under 2006. Om denitrifikation är orsaken till den lägre nettomineraliseringen 2004/2005, bör 2005/2006 års värden betraktas som mer intressanta att dra slutsatser rörande hur snabbt kvävet i olika gödselmedel kan mineraliseras efter spridning.

Mineraliseringshastighet och daggrader

Det har visat sig i andra studier frigörelsen av kväve från organiska material (Honeycutt m.fl., 1988) eller åtminstone nitrifikation (Griffin m.fl., 2000) kan förutsägas med hjälp av daggrader. Det var däremot svårt att se ett tydligt samband mellan mineraliseringshastighet och temperatur i denna undersökning, då detta försök inte var designat för att undersöka ett sådant samband. Samstämmigheten i mineralisering efter olika spridningstidpunkter blev ungefär lika bra om man plottade data mot dagar som mot daggrader. Det hade behövts fler observationer för att kunna anpassa några vettiga funktioner till data från varje enskilt spridningstillfälle. Det finns dock heller ingenting i resultaten som talar emot att man skulle kunna förutsäga nettomineraliseringen bättre från daggrader än dagar. I de sammanhang då olika spridningstidpunkter lades ihop i samma dataserie för att kunna anpassa funktioner eller då olika gödselmedel som spridits vid olika tillfällena, valdes här att presentera resultaten mot daggrader istället för dagar för att göra resultaten mer rättvisande. Då mineraliseringen plottades mot dagar kunde det tyckas att mineraliseringen av Vinass gick långsammare än för Biofer. Men då denna eventuella skillnad mer eller mindre försvann då resultaten istället plottades mot daggrader, kan man anta att skillnaden snarare berodde på att Vinass applicerats på höst, vårvinter och vår istället för som Biofer på vårvinter, vår och försommar som ju innebär högre temperatur efter spridning i medeltal.

Nettomineralisering är ett resultat av flera processer (mineralisering och immobilisering) som kan påverkas olika av temperatur. Detta betyder att det finns risk att det ändå är svårt att översätta nettomineralisering som skett under konstant temperatur till ett tillstånd med stora temperaturfluktuationer. För att få ett tydligt svar på hur nettomineraliseringsförloppet ser ut under naturliga temperaturförhållanden vid olika tider på året utfördes därför denna undersökning i fält. Detta begränsar resultaten till att framför allt gälla just de betingelser som rådde under försöket, men ger också ett säkrare svar på hur det förhåller sig just under sådana betingelser. Att data ändå också presenteras mot daggrader ökar ändå möjligheterna att tolka resultaten till att gälla andra temperaturer, om än med viss osäkerhet.

Jämförelser med resultat från andra inkubationer

Inkubationer har genomförts med liknande gödselmedel under konstanta temperaturförhållanden på lab. Orvendal (2007) inkuberade samma gödselmedel som i denna undersökning parallellt med denna undersökning, fast i klimatskåp med 15°C. Nettomineraliseringen i denna avstannade tidigare räknat i tid eller daggrader och även i mängd mineraliserat kväve. Mineraliseringshastigheten var dock densamma som i fältinkubationerna fram till denna punkt. Man kan misstänka att denna tidiga avstanning i mineralisering kan bero på denitrifikation p.g.a. dålig luftning av proverna under den senare halvan av försöket. Resultaten från fältinkubationerna stämmer bättre överens med andra studier. Cordovil m.fl. (2005) inkuberades olika organiska gödselmedel vid 24°C och hittade "aktiva kvävefraktioner" (*mineraliserat kväve/totalkväve*) på 37 % för höns gödsel, 33 % för hornmjöl och 25 % för sving gödsel. Om kvävet som var i mineralform från början adderas till dessa procentsatser kan de jämföras med det potentiellt växttillgängliga kvävet som presenteras i tabell 4 och stämmer då ganska väl överens. Mineraliseringen för dessa gödselmedel planade ut efter ungefär 25-50 dagar (Cordovil m.fl., 2005) vilket också stämde ganska väl överens med resultaten i denna rapport (tabell 4). Chadwick m.fl. (2000) fann i sina inkubationer att 56% av det organiska kvävet frigjordes från höns gödsel, medan motsvarande värden för sving gödsel var 37% och olika sorters nötgödsel var 6% respektive <2%. Mineraliserbart kväve i Vinass i denna rapport överensstämmer med resultat i ett examensarbete av Jerkebring (2000). I denna studie (Jerkebring 2000), antydde resultaten dock att en långsam mineralisering fortsatte efter att kurvan planat ut. Detta stämmer med resultaten för Biofer och Vinass i denna rapport 2005/2006 (figur 5), även om det döljs av de anpassade exponentiella kurvorna (figure 4). På ett liknande sätt som i resultaten från 2005/2006 i denna rapport avklingar mineraliseringen vid samma tidpunkt för olika gödselmedel även i andra studier. Griffin m.fl. (2000) fann att svin-, höns- och kogödsel följde samma mineraliseringsförlopp, medan nötgödsel med betydligt högre kol/kväve-kvot än övriga gödselmedel hade en nettoimmobilisering och därmed uppförde sig annorlunda. Nettoimmobilisering har observerats från kogödsel och andra gödsel med hög kol/kväve-kvot i flera undersökningar (Kirchmann 1991; Griffin m.fl., 2000; Raupp, 2005). Den negativa nettomineraliseringen 2004/2005 presenterade i denna rapport kan dock snarare bero på denitrifikation än immobilisering. Om vi antar att resultaten från 2005/2006 är mer trovärdiga än de från 2004/2005, skedde det en nettomineralisering snarare än en nettoimmobilisering av nötfast- och nötflytgödseln. Förmodligen skedde dock en nettoimmobilisering i början av experimentet, innan första provtagningen efter start, vilket antydde av resultaten i examensarbetet av Orvendal (2007), som med samma gödselmedel fick immobilisering av nötfast- och höns gödsel under den första veckan vid inkubation i 15°C.

Myllning

Till inkubationerna blandades gödseln väl med jord, vilket innebär att situationen efterliknar gödsel som är myllad. I växande gröda kan det vara svårt att mylla gödseln ordentligt, vilket är något man får ta hänsyn till när man drar slutsatser från dessa resultat om vilka spridningstidpunkter som är lämpliga för att synkronisera mineraliseringen av gödselkväve med grödupptaget. I inkubationerna har det förmodligen således inte skett några ammoniakförluster. Vid spridning av ammoniumrik gödsel såsom kyckling gödsel och nötflytgödsel kan det vara svårt att undvika förluster även om man brukar ner gödseln ganska snart efter spridning. Därför kan vi inte vänta oss att dessa båda gödselslag ska ge lika bra effekt i växtodlingen som resultaten indikerar, såvida inte spridningstekniken tillåter omedelbar myllning vid gödslingstillfället.

Jämförelser med fältförsök

Biofer har gett bättre effekt i fältförsök än vad som kan förväntas utifrån resultaten i detta försök där nettomineraliseringen av kväve uppgick till 65 % av totalkväve. Effekten av gödsling med Biofer på kväveskörden hos vårstråsäd motsvarade ungefär 80 % så höga nivåer av mineralgödselkväve i svenska (Gruvaeus, 2003) och norska (Jeng m. fl., 2006) fältförsök. Effekten av Vinass i svenska fältförsök har varit mer varierande och ofta lägre än från Biofer (Gruvaeus, 2003) trots deras liknande mineraliseringsförlopp i denna studie, med 50-60% effekt jämfört mineralgödselkväve (Gruvaeus, 2003).

Höns- eller kycklinggödsel har i flera olika fältförsök gett skördeeffekter i stråsäd motsvarande 30-40% så stora givror med mineralgödselkväve som tillförd totalkväve (Petersen and Kjellerup, 1996; Nicholson m. fl., 2003; Delin, 2008). I några danska försök med nedplöjning av gödseln (Pedersen, 2007) eller ordentlig omblandning av gödseln i jorden för hand (Thomsen, 2004) har dock skördeeffekten visat sig kunna vara så stor att den motsvarar en 70-80% så stor mineralgödselgiva som hönsgödselns totalkväveinnehåll. Detta antyder att mineraliseringspotentialen kan vara fullt utnyttbar i växtproduktion, men att växtutnyttandet i de flesta fall är mindre då man har svårt att undvika ammoniakförluster utan en ordentlig nedbrukning av gödseln omedelbart vid spridning. Rodhe m.fl. (2000) fann att 20 % av ammoniumkvävet i lagrad kycklinggödsel avgick som ammoniak inom fyra timmar efter spridning och att ytterligare 20 % avgick därefter om man inte brukade ner gödseln. Nedbrukningen bör alltså vara mycket snabb för att inte väsentliga mängder ska hinna gå förlorat som ammoniak.

Utifrån resultaten i den här rapporten förväntar man sig inte större omedelbar kväveeffekt från nötgödseln (fast och flyt) än det ursprungliga innehållet av ammoniumkväve. Resultat från olika fältförsök med nötflytgödsel visar att effekten av kvävet i flytgödseln jämfört med mineralgödselkväve oftast är lägre än, ofta bara hälften så stor, som motsvarande flytgödselns ammoniumkväveinnehåll (Jackson och Smith, 1997; Nicholson m.fl., 1999). Svenska gödslingsrekommendationer anger att man kan räkna att ca 10 % av ammoniumkvävet förloras som ammoniak och att kvarvarande ammoniumkväve ändå bara motsvarar en 75 % så stor giva av mineralgödselkväve (Albertsson, 1997). Hur stor ammoniakavdunstningen blir varierar mellan spridningstekniker (Misselbrook m. fl., 2002; Rodhe, 2004) och tidpunkter för gödsling (Nicholson m. fl., 1999). Williams m.fl. (2001) gödslade rajgräs med nötgödsel, i vilken ammoniumkvävet först avlägsnats. Jämfört med en ogödslad kontroll ökade kväveupptaget i gödslade led med 10 eller 5 % av tillfört organiskt kväve under de första sex månaderna och ungefär lika mycket till under kommande sex månader för nötflyt- respektive nötfastgödsel. Även om detta är något mer än vad som mineraliserades i inkubationerna i denna rapport, bekräftas mönstret med en långsam nettomineralisering av kväve som är utsträckt i tiden, såsom i resultaten från 2005/2006 i denna rapport.

Utlakningsrisk vid höstspridning

Nettomineraliseringen av kväve från den simulerade höstspridningen fram till senhösten var ganska stor för Vinass och kycklinggödsel under hösten 2005, då i princip hela nettomineraliseringen skedde under hösten (figur 5). Dock var endast en mindre del av mineralkvävet nitrifierat vid den sena höstprovtagningen (figur 6) och därmed bara delvis utlakningsbart. Nitrifikationen fortgick dock under vintern, då det mesta var i nitratform vid provtagningstillfället på vårvintern (figur 6). Att nitratbildningen fortgår även vid låga temperaturer överensstämmer med resultat av Lindén m.fl. (2003), som fann nitrifikation även strax under noll grader. Detta innebär att utlakningsrisken blir stor om dessa gödsel-

medel sprids på hösten om inte det finns en gröda med högt kväveupptag, t.ex. raps. Nettomineraliseringen under hösten 2004 var mer begränsad för Vinass och kycklinggödsel (figur 5), men kan ha berott på denitrifikation. Nötfastgödseln hade en väldigt begränsad nettomineralisering under hösten 2005 och en negativ nettomineralisering under hösten 2004 (figur 5) och höstspridning av nötfastgödsel kan därför inte anses utgöra någon större utlakningsrisk än spridning på någon annan tidpunkt under året.

Referenser

- Albertsson, B. 2007. Riktlinjer för gödsling och kalkning 2008. Jordbruksverket, Rapport 2007:22, 72 s.
- Chadwick, D.R., John, F., Pain, B.F., Chambers, B.J., Williams, J. 2000. Plant uptake of nitrogen from the organic nitrogen fraction of animal manures: A laboratory experiment. *Journal of Agricultural Science* 134, 159-168.
- Cordovil, C. M.d.S., Coutinho, J., Goss, M., Cabral, F. 2005. Potentially mineralizable nitrogen from organic materials applied to a sandy soil: fitting the one-pool exponential model. *Soil Use and Management* 21, 65-72.
- Delin, S. 2008. Nitrogen effect of poultry manure. In: Koutev V (2008) 13th Ramiran International Conference, Albena, Bulgaria June 2008, s. 273.
- Griffin, T. S., Honeycutt, C. W. 2000. Using Growing Degree Days to Predict Nitrogen Availability from Livestock Manures. *Soil Science of America*, 64, 1876-1882.
- Gruvaeus, I. 2003. Gödsling med organiska gödselmedel i vårvete. Försöksrapport 2003 för Mellansvenska försökssamarbetet, s. 33-34.
- Helander, C. A., Lindén, B. 2002. Mineralisation of nitrogen from above- and below-ground parts of white clover studied under natural field temperature conditions. In: Helander, C. A. Farming System Research. Doctoral thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Agraria 334, paper II,
- Honeycutt, C.W., Zibilske, L.M., Clapham, W.M. 1988. Heat units for describing carbon mineralisation and predicting net nitrogen mineralisation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54, 1346-1350.
- Jackson, D.R., Smith, K.A. 1997. Animal manure slurries as a source of nitrogen for cereals; effect of application time on efficiency. *Soil Use and Management* 13, 75-81.
- Jansson, S.L. 1958. Tracer studies on nitrogen transformations in soil with special attention to mineralisation-immobilization relationships. *Kungl. Lantbrukshögskolans Annaler*, 24, 101-361.
- Jeng, A.S., Haraldsen, T.K., Grønlund, A., Pedersen, P.A. 2006. Meat and bone meal as nitrogen and phosphorus fertilizer to cereals and rye grass. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 76, 183-191.

- Jerkebring K. 2000. Anpassad kvävegödsling i ekologisk odling av frilandsgrönsaker ett kunskapsunderlag för delad kvävegiva. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för ekologi och växtproduktionslära. Examensarbeten/Seminarieuppsatser 16, 50 s.
- Kirchmann, H. 1991. Carbon and nitrogen mineralization of fresh, aerobic and anaerobic animal manures during incubation with soil. *Swedish Journal of Agricultural Research* 21, 165-173.
- Lindén, B., Engström, L., Ericson, L. 2003. Nitrifikation av ammonium i nötflytgödsel efter tillförsel till jord tidigt och sent på hösten – betydelse för utlakningsrisken. Institutionen för jordbruksvetenskap Skara, Serie B Mark och växter, Rapport 10, Skara, 52 s.
- Misselbrook, T.H., Smith, K.A., Johnson, R.A. and Pain, B.F. 2002. Slurry application techniques to reduce ammonia emissions: Results of some UK Field scale experiments. *Biosystems Engineering* 81, 313-321.
- Mulvaney, R.L. 1996. Nitrogen - inorganic forms. In: Sparks D.L. et al (eds) *Methods of Soil Analysis, Part 3-Chemical Methods*. Soil Science Society of America Book Series, Nr 5. Madison, Wisconsin, USA, 1123-1184.
- Nicholson, F.A., Chambers, B.J., Smith, K.A., Harrison, R. 1999. Spring applied organic manures as a source of nitrogen for cereal crops: experiments using field scale equipment. *Journal of Agricultural Science* 133, 353-363.
- Nicholson, F.A., Chambers, B.J., Dampney, P.M.R. 2003. Nitrogen value of poultry litter applications to root crops and following cereal crops. *Journal of Agricultural Science* 140, 53-64.
- Orvendal, J. 2007. Värdering av kvävet i organiska gödselmedel. SLU, Avdelningen för precisionsodling, Examens- och seminariearbete nr 3, 39 s.
- Pedersen, J.B. 2007. *Overikt over Landsforsøgene. Forsøg og undersøgelser i de landøkonomiske foreninger*. Dansk Lanbruksrådgivning, Landcentret Palnteproduktion. 414 pp.
- Petersen, J., Kjellerup, V. 1996. Fjerkrægødning – produktion, næringsstofindhold og gødningsvirkning. *Grøn Viden* 174.
- Piegorsch, W.W., Bailer, A.J. 2005. *Analyzing Environmental Data*. John Wiley & Son, 476 pp.
- Rodhe, L., Richert Stintzing, A., Salomon, E. och Karlsson, S. 2000. Kycklinggödsel till sallat och vitkål. Ammoniäkförluster och växtnäringssutnyttjande. JTI-rapport Lantbruk & industri 269.
- Salomon, E., Malgeryd, J., Rogstrand, G., Bergström, J., Tersmeden, M. 2006. Halter av växtnäring och spårelement i lagrad gödsel från värphöns. JTI rapport lantbruk och industri 349. 48 s.
- Williams, J. R., Chambers, B. J., Chadwick, D.R., Bhogal, A., King, J.A. 2001. Organic nitrogen release from farm manures. 11th Nitrogen workshop, Book of abstracts, 381-382.

Titlar utgivna i serien *Precisionsodling*:

2008:1. Sofia Delin och Lena Engström, Kvävemineraliseringsförlopp efter gödsling med organiska gödselmedel vid olika tidpunkter.

Institutionen för mark och miljö, SLU, Skara,

Precisionsodling och pedometri bedriver forskning med precision i odlingen som mål. Detta forskningsarbete tar sikte på att utveckla metoder för bättre utnyttjande av markens resurser samt styrning av processer som inverkar på grödornas tillväxt, framför allt genom bättre växtnäringshushållning, bl.a. platsspecifikt för tillämpning inom precisionsjordbruket.

Forskning bedrivs främst i fältstudier och fältförsök. Huvudsyftet med denna forskning är att förstärka den ekonomiska uthålligheten i svenskt lantbruk genom att förbättra grödornas avkastning och jordbruksprodukternas kvalitet och samtidigt utnyttja våra naturliga tillgångar på ett miljövänligt och resursbevarande sätt. Forskning, utbildning och information präglas av helhetssyn och sker i nära samarbete med näringsliv, myndigheter och rådgivning.



Sveriges lantbruksuniversitet

Institutionen för mark och miljö
Precisionsodling och pedometri
Box 234, 532 23 SKARA
Internet: <http://po-mv.slu.se>