



Kandidat Speciale

Astrid Sigaard Andersen

Mineraliserings- og immobiliseringsdynamikker, og deres indflydelse på valget af organisk gødning i grøntsagsproduktion

Institut for Plante- og Miljøvidenskab, Københavns Univsersitet

Vejleder: Professor Lars Stoumann Jensen

Medvejledere: Konsulent Richard de Visser og Postdoc Beatriz Gomez Muñoz

Afleveret den: 31. maj 2016

Specialet er lavet i samarbejde med GartneriRådgivningen A/S, HortiAdvice Scandinavia A/S.

Kontakt: Richard de Visser
Konsulent Økologi, GartneriRådgivning
Hvidkjærvej 29, 5250
Odense, Danmark



Astrid Sigaard Andersen – Studienummer mqr302

Indholdsfortegnelse

Indholdsfortegnelse.....	3
Introduktion	5
Specialets overordnede formål	6
Definitioner.....	6
Teori.....	7
Kvælstof cyklussen i landbrugsjord	7
Mineralisering.....	9
Immobilisering.....	9
Temperatur.....	11
Faktorer der påvirker MIT	11
Biokemiske karakteristika hos det organiske materiale	11
Materialer og metode.....	13
Jord og gødninger	13
Beskrivelse af markforsøg.....	14
Beskrivelse af inkubationsforsøg	17
Statistik og beregninger	18
Markforsøg.....	18
Inkubationsforsøg	18
Fejlkilder	19
Resultater og dataanalyse	21
Gødninger.....	21
Markforsøg.....	23
Netto-mineralisering i blandede del-parceller uden plantevækst	23
Biomasse og N-optag i afgrøden.....	25
Mineralsk N målt under afgrøden	27
Inkubation	31

Mineralisering af N over tid.....	31
Tilvækst mineralsk N og temperatur.....	33
Gødningernes effektivitet.....	34
Diskussion.....	36
Mineraliseringen og målingsmetode	36
Opdelingen af organisk materiale	37
En vigtig tidsdimension	37
Afgrødens kvælstof-udnyttelse	39
Jordens mineralske kvælstof	39
Netto immobilisering	40
Forudsigelse af MIT på baggrund af inkubationsforsøg	40
Temperatur.....	40
Valg af gødning	41
Konklusion	43
Tak til	43
Litteratur	44
Appendix 1: R-kode	46

Introduktion

Næsten tre fjerdele af de danske landmænd benytter organisk gødning i deres produktion, og forventer at øge deres forbrug i både mængde og type af organisk gødning i fremtiden. Det viser en spørgeundersøgelse blandt danske landmænd (Case et al. 2015). Undersøgelsen viser også at problemer med planlægning, brug og usikkerhed omkring næringsstoffer, er de primære barrierer for brugen af organisk gødning (Case et al. 2015).

Kvælstof (N) er det essentielle næringsstof der mængdemæssigt er størst behov for i planteproduktion (Jensen & Magid 2009). Her er den primære udfordring at få nok N på det rigtige tidspunkt, og dette gælder især i grøntsags produktion hvor dyrkningstiden kan være kort, og afgrøden meget kvælstofkrævende.

I det økologiske landbrug benyttes hovedsageligt husdyrgødning som kilde til N, brugen af efterafgrøder der nedpløjes efter vinter er lovpligtigt, og brugen af grøngødning er under stadig udvikling (Jespersen 2015; NaturErhvervstyrelsen 2015). I organiske gødninger er N bundet i mere eller mindre komplekse organiske forbindelser. Der først må omdannes til mineralsk N, N(min), før det kan optages af en afgrøde. Derfor er koncentrationen af plantetilgængeligt N i en landbrugsjord, gødet med organisk gødning. Styret af de processer der henholdsvis frigør (mineralisere) og binder (immobiliserer) N i jorden. Jo mere N(min) der frigives, desto større er den pulje af N der kan være tilgængelig for planteoptag, men samme pulje er også i risiko for udvaskning. Mineralisering og immobilisering har en signifikant indflydelse på plantetilgængeligt N i jorden og derfor har meget forskning søgt efter metoder til at kvantificere disse processer (Jensen & Magid 2009). På trods af at de har været studeret gennem mange årtier, er vores generelle forståelse af dem dog stadig ufuldstændig (Jarvis et al. 1996).

For at kunne koordinere den rigtige mængde af mineralsk N med det rigtige tidspunkt for planteoptag, er et godt kendskab til mineraliserings- og immobiliserings dynamikkerne nødvendigt. Dette projekt har undersøgt et antal organiske gødninger, der er kommercielt tilgængelige for det økologiske landbrug i Danmark. Her i blandt plantemateriale, husdyrgødning og industriaffald. For at se hvilke gødninger er i stand til at frigive N(min) nok til at supplere en afgrøde, spinat, dyrket om efteråret. Samtidig vurderes om et inkubationsforsøg med samme gødninger kan bruges til at vurdere deres effekt på friland.

Specialets overordnede formål

1. Vurdering af de organiske gødninger til brug i grøntsagsproduktion
 - a. Hvor effektivt mineraliseres gødningerne i jorden?
 - b. Er der en sammenhæng mellem netto-mineralisering fra gødningerne og udbyttet af afgrøden
2. Undersøge temperatureffekten på netto-mineraliseringen af de organiske gødninger
 - a. Er der en overordnet effekt af temperatur på netto-mineraliseringen?
 - b. Er der nogle gødningerne der er mere påvirkede af temperatur end andre?
3. Undersøge korrelationen mellem de to forsøg
 - a. Kan resultaterne fra markforsøget forklares ud fra resultaterne fra inkubationsforsøget?

Definitioner

Her beskrives et par vigtige definitioner for arbejdet med mineralisering- og immobiliseringsdynamikker.

Brutto-mineralisering: Resultatet af mineraliseringsprocessen

Brutto-immobilisering: Resultatet af immobiliseringsprocessen

Netto-mineralisering af N: Netto-mineraliseringen er den samlede effekt af mineraliseringsprocessen og immobiliseringsprocessen (brutto-mineralisering > brutto-immobilisering).

Netto-immobilisering af N: Netto-immobilisering er den samlede effekt af mineraliseringsprocessen og immobiliseringsprocessen (brutto-mineralisering < brutto-immobilisering)

Teori

I dette afsnit præsenteres relevante dele af den eksisterende viden om kvælstofcyklussen i landbrugsjord, samt mineralisering og immobilisering af kvælstof.

Kvælstof cyklussen i landbrugsjord

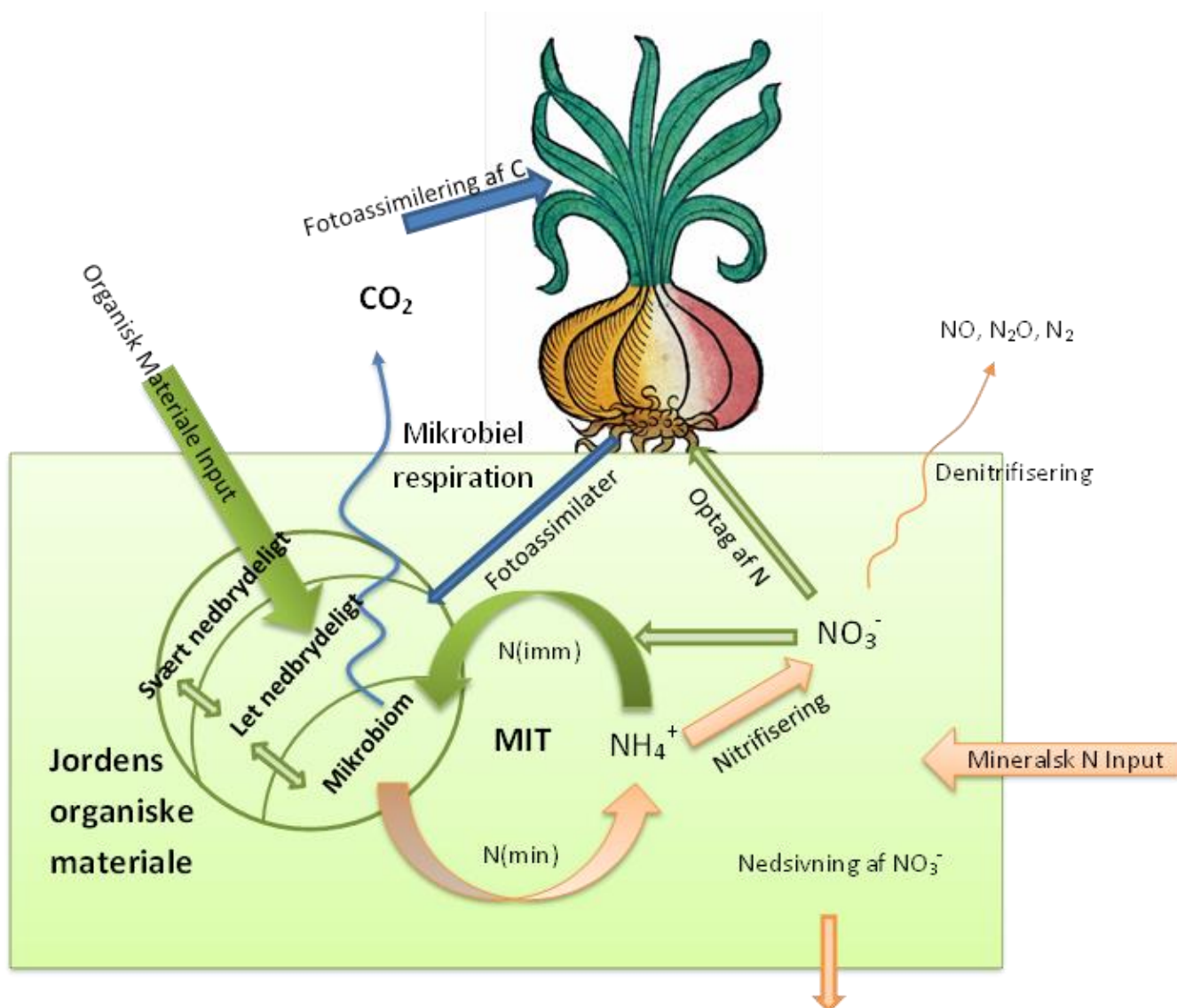
Organisk materiale der tilføjes til jord, nedbrydes hovedsageligt af jordens mikroorganismer. Det sker ved hjælp af ekstracellulære enzymer. Især svampe og bakterier kan producere en bred vifte af enzymer der er i stand til at nedbryde komplekse organiske strukturer (Bardgett 2005).

Nedbryderne i en landbrugsjord består af mange forskellige mikro- og makroorganismer i en kompliceret fødekæde. 90 % af den nedbrydning der sker i jorden sker dog via bakterier og svampe, og deres prædatorer (Jensen & Magid 2009). Dette spindelvæv af nedbrydere vil fremover blive refereret til som jordens mikrobiom. Mikrobiomet er en del af jordens organiske materiale. Det refereres nogle gange til som jordens levende organiske materiale, sammen med f.eks. levende planterødder. For at adskille det var jordens døde organiske materiale der bl.a. omfatter døde mikroorganismer og plantedele, samt humus (Kuzakov 2010).

Ved nedbrydningen af det døde organiske materiale frigives N som ammonium (NH_4^+) og som opløselige organiske forbindelser. Samtidig med at mere svært nedbrydelige forbindelser dannes, enten gennem modificering af molekyler i det oprindelige organiske materiale, eller via mikrobiel syntese (Jensen & Magid 2009). Når det organiske materiale er blevet frigivet kan det optages i det mikrobielle system (immobilisering) og når den mikrobielle fauna dør eller udskiller organiske forbindelser så frigøres N igen (mineralisering). Mineraliserings- og immobiliseringsprocesserne, der betegnes MIT (Mineraliserings-Immobiliserings-Turnover), er dynamiske, konstante og kontinuerlige (Jensen & Magid 2009). De danner en salgs ligevægt mellem det organisk bundne N og $\text{N}(\text{min})$.

I figur 1 er en skematiseret oversigt over MIT modeleret efter Jensen & Magid 2009 (Jensen & Magid 2009) sammen med de vigtigste veje $\text{N}(\text{min})$ og organisk materiale tilføres en landbrugsjord. Koncentrationen af N i jorden er opdelt i to hovedpuljer: 1) Jordens organiske materiale. Der igen er opdelt i svært nedbrydeligt- og let nedbrydeligt materiale, og mikrobiel biomasse. N bevæger sig mellem de tre puljer ved f.eks. at mikroorganismer optager små organiske molekyler, eller ved at komplekse organiske strukturer nedbrydes i mere let

nedbrydelige dele. 2) Jordens mineralske N. Der igen er opdelt i ammonium (NH_4^+) og nitrat (NO_3^-).



Figur 1: Tegning af MIT (Mineralisation-Immobilisation-Turnover) i en landbrugsjord, pile viser bevægelser af kvælstof (N) og kulstof (C) imellem jordens puljer, samt ind og ud af jordprofilen. Modeleret efter (Jensen & Magid 2009). Billedekreditering: Wellcome Library, London/Wikimedia Commons (CC BY 4.0)

I den mikrobielle fauna optages N fra jorden som næring til biosyntesen. Eller af autotrofe bakterier som Nitrosomonas og Nitrobacter der udnytter den kemiske energi fra nitrificeringsprocessen. Nitrificeringen forløber kontinuert ved normale temperature og luftige jordforhold, og så længe ammonium er tilgængeligt. Derfor antages det for det meste af nitrificeringen af ammonium ikke er en begrænsende proces i en landbrugsjord, og derfor vil koncentrationen af nitrat i jorden oftest være langt højere end koncentrationen af ammonium (Jarvis et al. 1996). Nitrat er mere mobilt i jordvæsken end ammonium, bl.a. derfor er nitrat

mere tilgængeligt for planterødder og mikroorganismer, men også i risiko for at blive tabt gennem nedsivning (Jarvis et al. 1996).

Ud over den biologiske mineralisering og immobilisering, påvirkes jordens koncentration af N(min) også af nogle fysiske faktorer. Det er bl.a. Flush effekten (beskrives i afsnittet Mineralisering), og fiksering af NH_4^+ til lerpartikler eller humus (Jensen 2013). Dertil kommer tab til atmosfæren gennem denitrificering og fordampning af ammoniak.

Mineralisering

Mineraliseringen af N kan beskrives som summen af en række effekter der frigiver N fra jordens organiske materiale. Mary & Recous definere dem som "Flush effekten", "Basal mineralisering" og "Remineralisering" (Mary & Recous 1994).

Flush effekten er frigivelsen af N(min) på grund af fysiske ændringer i jorden. F.eks. skift mellem varm og frossen jordvæske, eller mellem tør og vandlidende jord, der kan medføre mikrobiel død og sprængning af cellevægge. Dette kan frigive let opløselige organiske forbindelser, der tidligere var beskyttet, til jordvæsken. Remineralisering er mineralisering af nyligt immobiliseret N. Remineralisering finder sted forholdsvis kort tid efter en hurtig opformering af mikroorganismer og dermed høj mikrobiel prædation og dødsrate. Basal mineraliseringen kan også beskrives som en baggrundsmineralisering, der forløber selv om intet nyt organisk materiale tilføres jorden (Mary & Recous 1994). De forskellige processer der udgør mineraliseringen forløber ikke med samme hastigheder, flush effekten og remineralisering sker som umiddelbare følger af ændringer i jorden, eller øget formering af mikrobiomet. Den basale mineralisering er der imod kontinuer og konstant (Mary & Recous 1994; Jensen & Magid 2009).

Immobilisering

Immobilisering af N via biologisk assimilering, drives af tilgængeligheden af kulstof der tilføres jorden som organisk materiale eller deponeres som fotoassimilater fra planterødder. Den er også påvirket af jordens N(min) koncentration (Mary & Recous 1994).

I de fleste landbrugsjorde vil der være meget lidt let tilgængeligt kulstof (C) i jorden. Mikroorganismene vil være energi-begrænsende (C-begrænsede), og derfor ikke have nogen særlig vækst (Jensen & Magid 2009). Når nyt organisk materiale tilføres jorden kan det føre til en umiddelbar opformering af mikroorganismer, og dermed immobilisering af let tilgængeligt N.

Som nedbrydningen forsætter, bliver den let tilgængelige pulje af N opbrugt og mindre let nedbrydelige dele af det organiske materiale vil blive nedbrudt (Jensen & Magid 2009)

Immobiliseringen sker altså når jordens mikroorganismer nedbryder C-forbindelser for at få energi, og samtidig assimilere C og N til formering og opbygning af væv. Netto-immobilisering sker når det nye organiske materiale i sig selv ikke indeholder nok let tilgængeligt N, og mikrobiomet derfor optager N fra jordvæsken. Hvis det antages at alt C og N i det organiske materiale er lige tilgængeligt for nedbrydning, kan andelen af total-N i forhold til total-C (betegnet som C/N forholdet) være med til at forudse om nedbrydning af materialet vil resultere i net-immobilisering. Har det organiske materiale et højt C/N forhold må meget N immobiliseres fra jordvæsken for at nedbryde det, men har det et lavt C/N forhold vil N frigives fra nedbrydningsprocessen (Jensen & Magid 2009).

Organiske materialer er dog sjældent homogene materialer med lige tilgængelighed af C og N. Der i mod er organisk materiale oftest langt mere komplekst, med C og N bundet i forskellige mere eller mindre nedbrydelige strukturer, der kan være mere eller mindre beskyttet af andre svært nedbrydelige strukturer. Et generelt mønster er at den let nedbrydelige del af det organiske materiale nedbrydes umiddelbart efter det er tilført til jorden, og den pludselige ændring i tilgængelige næringsstoffer føre til en hurtig opformering af mikroorganismer. Når det let tilgængelige N er opbrugt begynder den mere tidskrævende nedbrydningen af det svært nedbrydelige materiale, fulgt af remineralisering fra mikrobiomet og frigivelse af N_{min} til jordvæsken (Jensen & Magid 2009). C/N forholdet er altså ikke altid nok til for forudse hvordan MIT vil forløbe (Bjarnason 1988; Jensen & Magid 2009)

Hvor stor en andel af det organiske materiales C-indhold der kan assimileres af jordens mikrobiom betegnes 'udnyttelseseffektiviteten'. Udnyttelseseffektiviteten af organisk materiale kan variere ret signifikant, afhængigt af mikroorganismers vækst stadie og nedbrydeligheden af materialet (Jensen & Magid 2009). Nogle forskere peger også på at jordens mikrobiom kan have et luksusoptag af N, når der er overskud af let tilgængeligt N i jorden (Fog 1988). Altså et større optag af N end nødvendig til senere udnyttelse (Sander et al. 2006). Et forsøg med øgede koncentrationer af N_{min} 's påvirkning af mineralisering i en dyrket jord, viser dog ikke noget luksusoptag i de jorder med højest N_{min} koncentration (Recous et al. 1995).

Temperatur

Den biologiske aktivitet, og dermed nedbrydningen af organisk materiale øges med stigende temperatur. Ændringer i temperatur ser også ud til at påvirke immobiliseringen og mineralisering forskelligt (Andersen & Jensen 2001; Chaves et al. 2008; Bardgett 2005). Forskere har observeret både mineralisering og nitrificering ved temperaturer helt ned under frysepunktet (Clark et al. 2009). Der i mod er en reduktion af immobiliseringsraten fundet ved lave temperature (Andersen & Jensen 2001). Ved lave jordtemperaturer ser det også ud til at jordteksturen har indflydelse på mineralisering. Clark et al. observerede mineraliseringsrater i ler- og sandjord og så at mineraliseringen forløb hurtigere i lerjord end i sandjord ved temperature omkring frysepunktet. Denne forskel blev dog mindre som temperaturen steg (Clark et al. 2009). Andersen & Jensen studerede nedbrydningen af Italiensk rajgræs (*Lolium multiflorum*) over 37 dage ved 3 - 15 °C og fandt tegn på at nedbrydningen af plantematerialet er mest påvirket af temperaturen i begyndelsen.

Faktorer der påvirker MIT

Biokemiske karakteristika hos det organiske materiale

Flere forsøg peger på at det organiske materiales biokemiske sammensætning, er bedre til at forudsige eller forklare mineraliserings- og immobiliserings dynamikkerne end C/N forholdet (Bruun et al. 2005; Jensen et al. 2005). Derfor inddeles det organiske materiale ofte i forhold til varierende nedbrydelighed af forskellige biokemiske komponenter (Bruun et al. 2005)

De let nedbrydelige komponenter i det organiske materiale er de mindst komplekse strukturer som sukker, stivelse og nogle proteiner. Flere af dem er opløselige i jordvæsken og det er dem der nedbrydes først (Luxhøj et al. 2006; Magid et al. 2004; Recous et al. 1995). Hemicellulose og cellulose er noget mindre nedbrydelige. Fedt, voks og lignin kan danne svært nedbrydelige strukturer. Sammensætningen af biokemiske komponenter kan variere både mellem plantearter og mellem plantedele, fra f.eks. strå til kerne (Jensen & Magid 2009).

Organisk materiale tilføres til de forskellige undergrupper af jordens organisk materiale gennem hele året. Som afgrøderester ved høst, nedvisning af plantedele gennem vækstsæson og vinter. Ved nedmuldning af efterafgrøder og brug af organisk gødning. Eller som rodekssudater og fra omsætningen af mikrobiomet (Jarvis et al. 1996). Mineralisering og immobilisering er stærkt forbundne og gensidigt afhængige. Det meste af det N der frigives ved mineralisering,

immobiliseres således hurtigt igen af den mikrobielle populationen og transformeres til organiske N-komponenter (Jarvis et al. 1996)

Denne tilførsel af nyt organisk materiale til jorden sætter det med det samme gang i de modsatrettede mineraliserings og immobiliserings processer. Der er reguleret blandt andet af jordens mikrobielle fauna, jordtekstur, vandgennemstrømning og temperatur, men som også er påvirket af den biologiske sammensætning af det organiske materiale (Jensen & Magid 2009).

Materialer og metode

I dette afsnit beskrives først jord og gødninger brugt i to forsøg, samt udtagning og analyser af jord- og gødningsprøver. Dernæst beskrives mark- og inkubationsforsøget. Afslutningsvis beskrives statistiks analyse, beregninger og fejlkilder.

Jord og gødninger

Jorden der blev brugt til både frilandsmark- og inkubationsforsøg er en JB 3 jord (6,1 % ler, 7,3 % silt og 84,3 % fin- og grovsand) med ca. 1 % hummus (GartneriRådgivningen 2015). Jorden har et Rt på 6,2¹, indeholder 1,6 % total kulstof (total-C), 0,14 % total kvælstof (total-N) og har et C/N på 11 samt en vandholdende evne på 27,3 % (gravimetrisk). Vandindholdet i den jord der var udtaget til inkubationsforsøget var efter opbevaring (køligt) 10,2 % (gravimetrisk).

Der er på marken dyrket Havre (*Avena sativa*) i 2013 og Knoldselleri (*Apium graveolens* var. *rapaceum*) i 2014 og 2015, den del af marken der skulle bruges til forsøg blev dog ikke opdyrket i 2015 (GartneriRådgivningen 2015). Målinger fra marken viser at jorden indeholdt omkring 130 kg mineralsk N ha⁻¹ i det øverste jordlag (25 cm.) fra tidligere dyrkning og gødning.

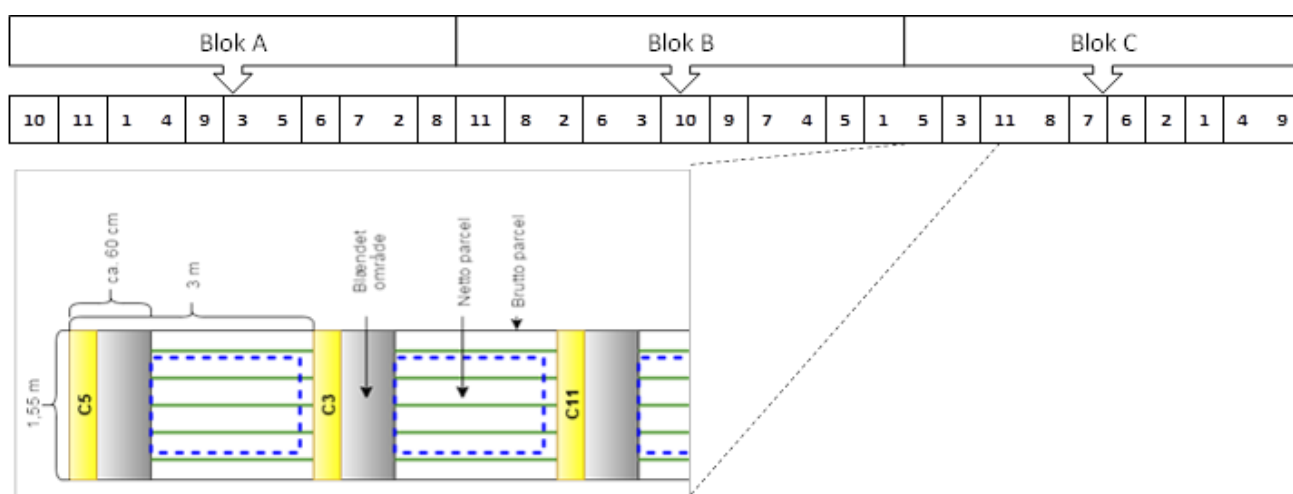
Der blev i både markforsøg og inkubationsforsøg anvendt en række organiske gødninger, nogle af dem kommercielt tilgængelige, andre hentet fra nærliggende gårde. Udvalgte oplysninger om gødningerne er præsenteret i Tabel 1. Kvæggylle blev kun anvendt i markforsøget. Analyser af total-C og total-N, foretaget på Københavns Universitet, er lavet ved elementær analyse af C og N (vario MACRO cube), tørstof indhold er målt ved tørring i 24 timer ved 100 °C for jordprøver og 60°C grader for gødningsprøver.

N(min) koncentration i jorden blev målt til 130,5 kg N(min) ha⁻¹ i marken før opsætning af forsøget. N(min) koncentration i jorden blev målt igen i laboratoriet før inkubation, her blev den målt til 34,79 mg kg⁻¹, svarende til 113 kg N(min) ha⁻¹.

¹ pH er målt til 6, 5 i egne test, OK laboratorie for jordbrug målet jordens reaktions tal I 2014 til 6,2

Beskrivelse af markforsøg

Markforsøget blev udført på friland, hos en lokal landmand ved Bramstrup på Fyn (Micheal Balle, Bramstrup, Fyn). Her blev et aflangt bed anlagt (1,55 m bredde, fræset og forhøjet 15-20 cm. ift. omgivende terræn) og inddelt i tre blokke (A, B og C) i forlængelse af hinanden (Figur 2), hver blok blev inddelt i 3 m. lange og 1,55 m. brede parceller (på nær parcel B2 og C2 der blev 1,5 x 1,55 m. pga. manglende gødning til rådighed). Indenfor hver blok blev de 11 behandlinger (10 forskellige gødninger og 1 ugødsket kontrol) tilfældigt fordelt på parcellerne (Figur 2).



Figur 2: Tegning af forsøgsopsætning for markforsøget

Øverst en oversigt over gødningens fordeling i de tre gentagelser: Blok A, B og C. Se ID på gødningerne i Tabel 1. Til venstre et diagram over opsætningen af den enkelte parcel. Parcel B2 og C2 har andre mål, de er 1,55 x 1,5 m og har ikke et blændet område.

I blok C blev der ikke gødsket med Frisk rødkløver på grund af manglede gødning til rådighed. Hver af de gødskede parceller blev tildelt $120 \text{ kg total-N ha}^{-1}$ på nær dem der blev gødet med Kløvergræsensilage. De fik ved en fejl $50,5 \text{ kg total-N ha}^{-1}$ da total-N i kløvergræsensilagen efter forsøgsopsætningen viste sig at være lavere end antaget ved beregning af gødningsmængde. På grund af logistiske problemer, blev gødningerne fordelt på jordens overflade 2 dage før de blev fræset ned i jorden, derfor defineres dagen, hvor bedet blev opsat og gødningerne lagt ud på jorden, som dag -2. Spinat (*Spinacia oleracea*, sort: Toucan) blev sået umiddelbart efter nedfræsningen af gødning to dage senere, og denne dag bliver derfor defineret som dag 0. På dag -2 blev der taget 3 jordprøver før gødskning, en i hver blok. Hver prøve blev taget med jordbord (25 stik fordelt jævnt ned igennem blokken) og blandet grundigt før de blev frosset ned og senere sendt til analyse ved AGROLAB (Tyskland).

Spinat blev sået i 5 rækker med en afstand på 25 cm.. I hver parcel, på nær C2 og B2, blev de første 0,6 m. x 1,55 m. blændet med sort plastik, dette blev gjort på dag 4 efter såning. Af den resterende parcel anvendtes de centrale 105 x 210 cm. som nettoparcel (Figur 2). De blændede områder betegnes den blændede del-parcel i specialet.

Der blev udtaget jordprøver med jordspyd 5 gange efter dag 0, prøverne blev taget mellem rækkerne af spinat (på dag 4, 11, 18, 32 og 50 efter såning). Prøverne blev taget med 9-15 stik fordelt i hver nettoparcel. Ved forsøgets afslutning blev jordprøver taget med ca. 15 stik i midten af den blændende del-parcel (Billede 1) og blandet grundigt inden de blev frosset ned og senere sendt til analyse ved AGROLAB (Tyskland)

Dag 32 dage efter såning blev antallet af spirede spinatplanter talt². Ved afslutningen af forsøget blev der taget bladprøver i nettoparcellerne. Ved at blade blev skåret af ved jordoverfalde og pakket i plastposer, som blev sendt til analyse for tørstof (%) og koncentration af total-N samt andre makro- og mikronæringsstoffer ved Yara UK Limited (Pocklington, England). Til sidst blev friskvægten af spinatens biomasse målt i hver nettoparcel³



Billede 1: Til venstre en parcel i markforsøget (dag 50) hvor den sorte plastic er fjernet fra den blændede del-parcel. Til højre et nærbillede af prøvetagning i den blændede del-parcel (dag 50).

² Der blev for hver parcel talt 0,5 m for hver af 3 af rækkerne i nettoparcellen

³ Der blev for hver parcel skåret planter af ved jorden i 0,5m række for hver af 2 rækker i nettoparcellen, der blev samlet og vejlet på stedet.

Tabel 1: Udvalgte informationer om gødninger benyttet i mark-og inkubationsforsøg, informationerne stammer fra 4 kilder: ¹⁾GarteriRådgivningen 2015, ²⁾Analyse lavet på Københavns Universitet 2015/16, ³⁾Analyse lavet ved OK laboratorium april 2015. ⁴⁾Undersøgelser fra SEGES 2015 viser at landsgennemsnittet for forholdet mellem NH_4^+ -N og total-N i kvæggylle ligger på 58%, her antages at N(min) består udelukkende af NH_4^+ -N (SEGES).
TS=Tørstof, N(min)= Mineralsk N.

ID: Gødning navn	Form og Beskrivelse	TS(%)	N (g) TS ⁻¹ (kg ⁻¹)	C (g) TS ⁻¹ (kg ⁻¹)	C/N	NH ₄ ⁺ -N g N kg ⁻¹	NO ₃ ⁻ -N g N kg ⁻¹	N(min) procentdel af total-N
1: Kløvergræsensilage	Ensileret kløvergræs fra 1. slet med 40% kløver	27,94 ²	22,6 ²	444,5 ²	20	1,8	0	8,29
2: Rødkløverpiller	Tørret og pelleteret rødkløver fra tidligt slet	87,24 ²	40,2 ²	443,8 ²	11	0,59	0,05	1,59
3: Økogødning	Tørrede kerner med skal fra nærringsrige planter; lupin og hestebønne, anslået råproterin indhold omkring 38 %*	86,80 ²	49,8 ²	458,9 ²	9	0	0	0
4: ECO Høns	Pelleteret økologisk hønsegødning	90,78 ²	52,5 ²	348,5 ²	7	2,11	0,007	4,04
5: Kvæggylle	Flydende	6,66 ¹	39,8 ³	442,9 ³	11	23 ⁴		58 ⁴
6: Bio Grow	Pelleteret kød- og benmel med tilsat kalk, anslået råproterin indhold omkring 40-55 %*	96,71 ²	102,1 ²	454,6 ²	5	0,48	0	0,48
7: Monterra 13	Pelleteret restprodukt fra levedsmiddelproduktion, anslået råproterin indhold omkring 40-55 %*	95,24 ²	138,5 ²	516,1 ²	4	1,77	0	1,28
8: Protamylasse	Flydende restprodukt (kartoffelsaft) fra produktion af kartoffelmel	32,13 ¹	47,8 ³	349 ³	7	1,68	0,69	15,44
9: Vinasse	Flydende restprodukt af sukkerroe fra sukkerproduktion	69,23 ¹	47 ²	360,6 ²	7	0,77	1,03	3,85
10: Frisk rødkløver	Høstet fra økologisk rødkløver mark kort før forsøgets start, 100% Rødkløver ¹	14,46 ²	33,2 ²	440,8 ²	13	0,32	0,076	1,19

* Indhold af råprotein er estimeret for Animal meal, Bonemeal og Lupin fra (Rodehutschord et al. 2002)

Beskrivelse af inkubationsforsøg

Jorden til inkubationsforsøget blev indsamlet på dag -2 af markforsøget og opbevaret køligt og mørkt indtil inkubationsforsøgets begyndelse. 1 kilo af hver gødning på nær kvæggylle blev ligeledes samlet fra på dag -2 af markforsøget, frisk og ensileret kløvergræs blev frosset og resten blev opbevaret køligt og mørkt indtil inkubationsforsøgets begyndelse.

Jorden blev sigtet gennem en 4 mm si, og fordelt med 50 g. tørstof i 120 ml. plasticbægere.

Jordens vandindhold blev justeret til 60 % af vandholdende evne men milliQ vand, for at opnå optimale forhold for mikrobiel aktivitet. Jorden blev præinkuberet ved 15 °C i 7-13 dage.

Derefter opdelt i tre inkubationsskabe ved hhv. 8, 15 og 22 °C, hvor præinkubering fortsatte i 28-38 dage.

Efter præinkubering blev 6 x 2 behandlinger forberedt for hver af de 9 gødninger svarende til 300 kg N ha⁻¹ samt en ugødsket kontrol, hver prøve blev genopfugtet efter gødskning og komprimeret til et volumen på 50 ml., før de blev sat tilbage i inkubationsskabe ved 8 og 15 °C. I tillæg blev 6 behandlinger forberedt for Økogødning, Vinasse og Frisk Rødkløver svarende til 300 kg N ha⁻¹ samt ugødsket kontrol og sat til inkubering ved 22 °C.

Prøverne blev inkuberet i hhv. 0, 5, 10, 18, 29 og 42 dage, hvorefter ammonium og nitrat blev ekstraheret med 1M KCl (jord-opløsning forhold 10g til 40mL KCl, ekstraheret i 1 time i head-over-end shaker, og filtreret (gravitationsfiltrering) gennem Whatman nr. 5 filter). For dag 0 målingen blev prøver udtaget efter 1 times inkubation.

Ammonium og nitrat indhold blev analyseret (Flow Injection Analysis). Under præinkubering og inkuberingsperioden blev prøverne regelmæssigt genopfugtet for at opretholde et vandindhold på 60 % af vandholdende evne. De fleste prøve på nær dem ved 22 °C tabte aldrig mere end 1 ml vand mellem hver genopfugtning.



Billede 2: **A)** 120 ml plasticbæger m. jord og gødning; **B)** de friske gødninger afvejet til inkubation, **C)** de tørre og flydende gødninger afvejet til inkubation.

Begge forsøg er designet med 3 gentagelser for hver behandling, i markforsøget blev prøverne til forskellige tidspunkter udtaget som stikprøver på den samme parcel, hvor prøver blev indsamlet destruktivt i inkubationsforsøget.

Statistik og beregninger

Den efterfølgende analyse af data fra mark- og inkubationsforsøg er hovedsageligt baseret på en grafisk fremstilling af data i Excel (Microsoft Excel 2010) og på baggrund af vurdering af tendenser i forsøget. Der er også foretaget enkelte statistiske analyser disse kan ses i Appendix 1. Beregninger er numereret med et formel (F) nummer, til henvisning senere i specialet.

Markforsøg

Målingerne fra markforsøget kan ikke antages at være uafhængige over tid. Da målinger for henholdsvis dag 4, 11, 18, 32 og 50 til hver behandling er taget i samme parcel, og målingerne til dag -2 er taget i blok A, B og C. Der antages dog en uafhængighed mellem behandlinger. For at udgå fejlkilder på baggrund af afhængighed over tid er tilvæksten af $N(\min)$ i markforsøget beregnet som:

$$N(\min) \text{ tilvækst}_A = N(\min) \text{ dag } 50_A - N(\min) \text{ dag } 0_A \quad (F1)$$

Hvor A er angiver gentagelsen (A, B eller C) og $N(\min)$ dag 50 er målt i blændede del-parceller.

Nettomineraliseringen $N(\text{netto})$ for markforsøget er beregnet som:

$$N(\text{netto})_A = N(\min) \text{ tilvækst}_A (\text{behandling}) - N(\min) \text{ tilvækst}_A (\text{kontrol}) \quad (F2)$$

$$N(\text{netto}) = \text{Gennemsnittet af } N(\text{netto})_{A, B, C} \quad (F3)$$

Test af blokvirkning

For at undersøge om mineraliseringen fra de enkelte behandlinger er påvirket mere af deres placering i forsøget end af den gødningsbehandling de har fået, tilpasses data fra markforsøget til to forskellige lineære mixed-effects models (Appendix 1.1) der testes mod hinanden.

Inkubationsforsøg

I inkubationsforsøget udtages de enkelte målinger destruktivt og prøverne antages at være uafhængige både over tid og mellem hver behandling. Derfor er beregningerne af tilvækst i inkubationsforsøget beregnet som:

$$N(\text{min}) \text{ tilvækst}_A = N(\text{min}) \text{ dag } 50_A - N(\text{min}) \text{ dag } 0 \quad (\text{F4})$$

Hvor $N(\text{min}) \text{ dag } 0 = \text{Gennemsnitte af gentagelserne A, B og C for dag } 0$

Nettomineraliseringen i inkubationsforsøget er beregnet som:

$$N(\text{netto})_A =$$

$$N(\text{min}) \text{ tilvækst (behandling)}_A - \text{gennemsnit af } N(\text{min}) \text{ tilvækst (kontrol)}_{A, B, C} \quad (\text{F5})$$

$$N(\text{netto}) = \text{Gennemsnittet af } N(\text{netto})_{A, B, C} \quad (\text{F6})$$

Mineraliseringsprocenten for begge forsøg beregnes som koncentrationen af $N(\text{min})$ ved forsøgets afslutning som procent af tilføjet total-N ved forsøgets start. For marforsøget er $N(\text{min})$ koncentrationen i de blændede del-parceller anvendt (F7).

Tilvæksten af $N(\text{min})$, for hver gødningsbehandling over forsøgsperioden (begge forsøg), friskvægt af afgrøden samt afgrødens N-optag (kun markforsøg) er alle testet med ensidet varians analyse af henholdsvis $N(\text{min})$ som funktion af behandling, friskvægt som funktion af behandling og N-optag som funktion af behandling. Alle i forhold til kontrolbehandlingen.

Mineraliseringens påvirkning af temperatur i inkubationsforsøget er testet med en tovejs varians analyse af de to faktorer (temperatur og behandling) påvirkning $N(\text{min})$. Uafhængighed mellem temperatur og behandling testes som vekselvirkningen mellem temperatur og behandling i samme analyse. Alle statistiske test er testet mod en p-værdi $p=0,05$ i R (R Core Team 2015).

Fejlkilder

I markforsøget betød utilstrækkelig mængde gødning til rådighed at parcellerne C2 og B2 blev opsat uden et blændet område og på mindre plads (1,5x1,55m) end de andre parceller. Desuden blev der kun oprettet to gentagelser (parceller) gødet med Frisk kløvergræs. For Rødkløverpiller betyder det at tilvæksten i $N(\text{min})$ og netto-mineraliseringen (se beregning 3.1 og 3.2), ikke kan beregnes for Rødkløverpillerne i markforsøget med mere end 1 gentagelse. For Frisk rødkløver er der kun 2 gentagelser af alle målinger af $N(\text{min})$. I tillæg er der sket en fejl i såningen i parcellen gødsket med Frisk rødkløver i blok A. Derfor er der kun én gentagelse for måling af friskvægt og N-optag for afgrøden gødsket med Frisk rødkløver.

På grund af tekniske fejl i analysen af N(min) fra prøverne i inkubationsforsøget, mangler en del målinger: For dag 0 mangler 2 af 3 gentagelser for Protamylasse ved 8 °C, og 1 af 3 gentagelser for Protamylasse ved 15 °C. Da dag 0 målinger på tværs af behandling og temperatur ligger relativt tæt, bruges middelværdien af målingerne ved 15 °C som erstatning for de manglende målinger ved 8 °C for Protamylasse. For Vinasse mangler alle målinger fra dag 0 ved 15 og 22 °C samt 2 af 3 ved 8 °C, og derfor beregnes netto-mineralisering og mineraliseringsprocent ikke for Vinasse. Derudover mangler 2 af 3 målinger for Kløvergræsensilage og Vinasse for dag 10 ved 8 °C, og 12 andre målinger fra resten af forsøget.

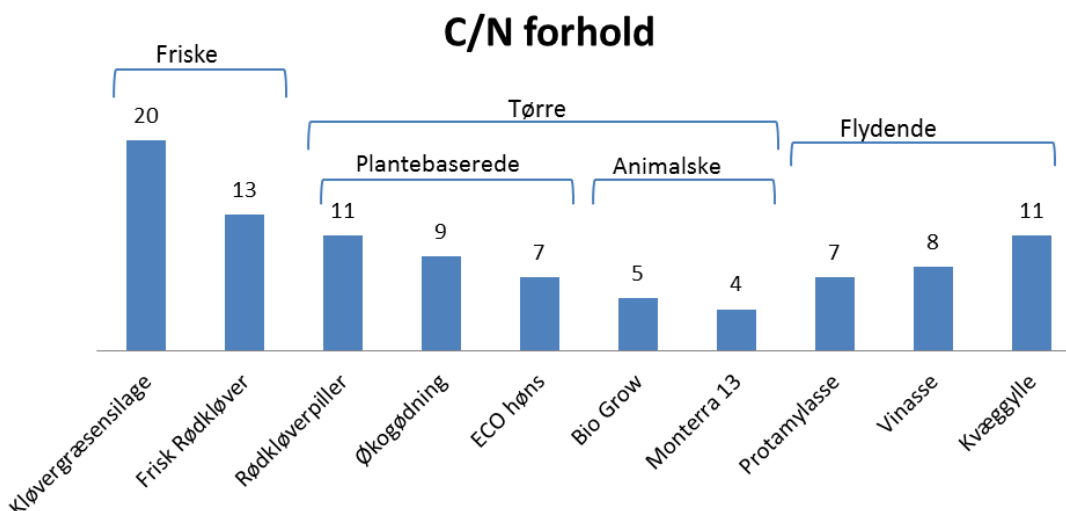
Resultater og dataanalyse

Resultaterne fra de to forsøg er præsenteret her. Først gennemgås gødninger og jord, herefter gennemgås resultaterne for markforsøget og inkubationsforsøget. Til sidst sammenholdes udvalgte resultater fra de to forsøg.

Gødninger

For at skabe overblik er de 10 gødninger fra mark- og inkubationsforsøg opdelt i grupper baseret på deres oprindelse og form (se Tabel 1). I figur 3 er gødningerne præsenteret med deres C/N forhold og gruppe.

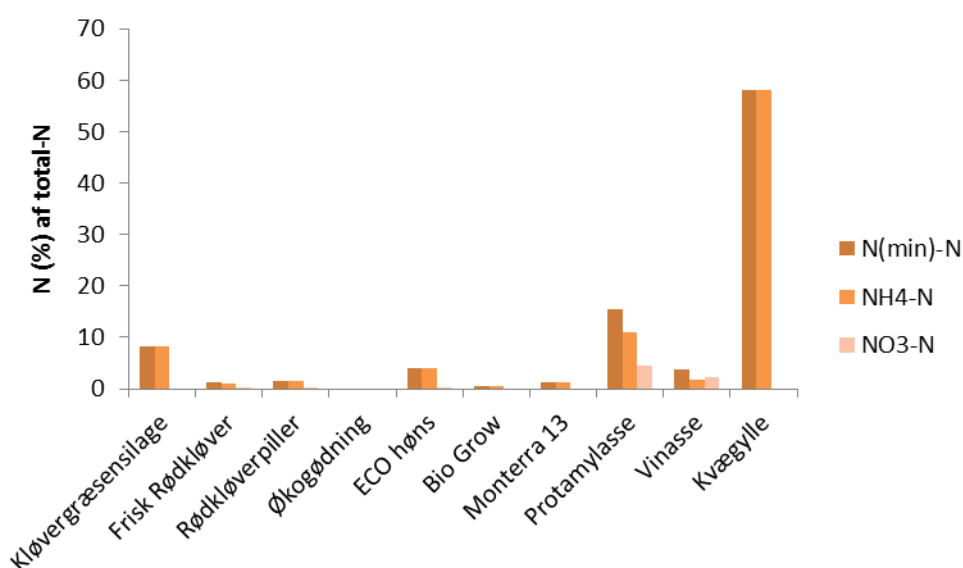
De friske gødninger (Kløvergræsensilage og Frisk kløvergræs) er de to anvendte gødninger. De er mindst findelt og nedbrudt før gødskning. De har de lavt tørstofindhold, og skal tilføjes i større mængde friskvægt for at nå op på den forudbestemte kg N ha⁻¹. Deres totale N ligger mellem 22-33 g N kg⁻¹, deres total C er ca. 440 g C kg⁻¹ og dermed har de største C/N værdier hhv. 20 og 13 (Figur 3).



Figur 3: Histogram over C/N forhold i 10 gødninger, C/N rationen er beregnet som vægtforhold, på baggrund af total-C og total-N indhold som kan findes i tabel 3.1.

De tørrede gødninger har det fællestræk at de alle er forbehandlet (tørret og pelleteret eller findelt). Der er 3 plantebaserede (Frisk rødkløver, Økogødning og ECO Høns) og 2 animalske

(Bio Grow og Monterra 13). ECO Høns er placeret sammen med de plantebaserede da den er en husdyrgødning og sammensat af fordøjet hønsefoder fra økologiske høns. Ikke et produkt af malet kød, ben eller fjer. Total-N spænder fra 40-50 g N kg⁻¹ hos Frisk rødkløver, Økogødning og ECO Høns, til 100-140 g N kg⁻¹ for Bio Grow og Monterra 13. Alle har et total-C indhold der spænder fra 350-500 g C kg⁻¹ (Tabel 1). Deres C/N værdier ligger mellem 4 og 11 og de har alle høje tørstofprocenter (86-96 %).



Figur 4: Gødningernes indhold af mineralsk N, vist som % af total-N i hver gødning. For hver gødning er også vist hvor stor en andel af mineralsk N der er på ammonium (NH₄-N andel) eller nitrat (NO₃-N) form. Analyserne er fra Københavns Universitet for alle gødninger på nær kvæggylle, kvæggylle er fra landsgennemsnittet i Danmark 2015 (SEGES 2015)

De flydende gødninger Vinasse og Protamylasse er begge restprodukter fra produktion af henholdsvis sukker (sukkerroeaffald) og kartoffelmel (kartoffelsaft). Begge indeholder 47 g total-N kg⁻¹ og 350-360 g total-C kg⁻¹ og dermed har begge en C/N værdi omkring 7 (Figur 3), men deres tørstof (%) ligger på 69 % for Vinasse og 32 % for Protamylasse. Den store forskel på disse to gødninger findes i andelen af kvælstof der er på mineralsk form i gødningen (15 % for Protamylasse og 3,8 % for Vinassen).

Kvæggylle: Kvæggyllen er kun brugt i markforsøget, og blev hentet fra en nærliggende gård. Den har et lavt tørstof indhold som de flydende gødninger, C/N på 11 (39,4 g total-N kg⁻¹ og 442,9 g total-C kg⁻¹). Den adskiller sig fra alle de andre gødninger ved at have en høj andel af N på mineralsk form (Tabel 1)

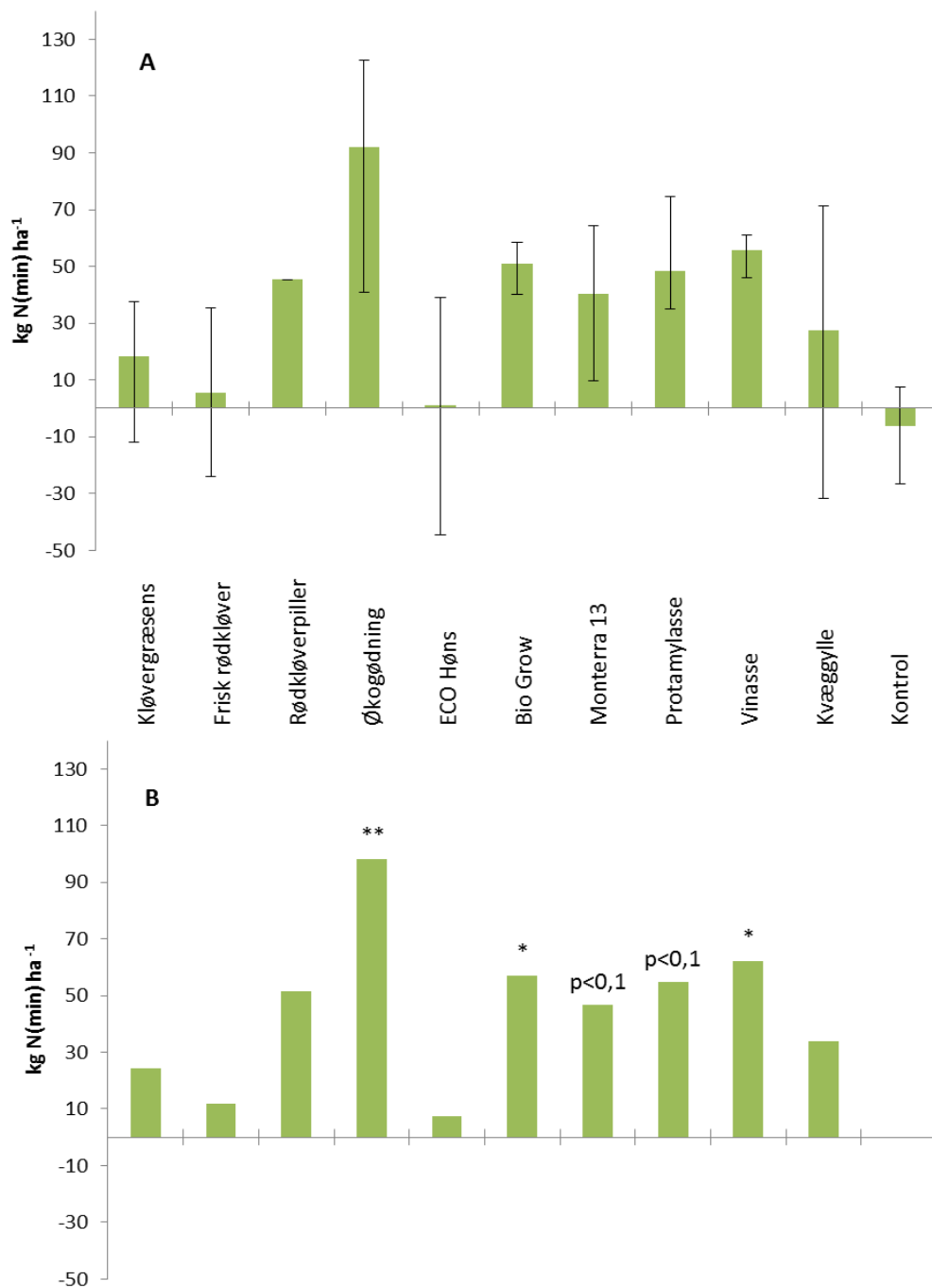
Markforsøg

Netto-mineralisering i blændede del-parceller uden plantevækst

Figur 5 viser tilvækst (A) og netto-mineralisering (B) for hver behandling (F1 og F3). Som det kan ses af det øverste søjlediagram (A) i figuren er der langt mellem mindste og største målte N(min)-koncentration inden for nogle af behandlingerne. Hos Vinasse, Bio Grow og til dels kontrollen ligger målingerne tæt inden for behandlingen. Mens de for Økogødning, ECO Høns og Kvæggylle ligger meget spredt indenfor behandlingen.

Det skal noteres at resultaterne fra Frisk Rødkløver bygger på kun 2 målinger og at resultaterne fra Rødkløverpiller bygger på kun én måling. For ECO Høns ligger højeste og laveste måling af N(min) så langt fra hinanden at der må antages at være en fejl i markforsøget for denne behandling. Bio Grow og Vinasse viser begge en signifikant netto-mineralisering på hhv. 57 og 62 kg N(min) ha⁻¹ over de 52 dage. Økogødning har en signifikant netto-mineralisering på 98 kg N(min) ha⁻¹. Monterra 13 og Protamylasse med netto-mineralisering på hhv. 46 og 54 kg N(min) ha⁻¹ er tæt på signifikant forskellige fra tilvæksten i kontrollen ($p < 0,1$).

Der sker næsten ingen gennemsnitlig tilvækst i kontrollen, derfor er der ikke den store forskel mellem tilvæksten og nettomineralisering af behandlingerne. N(min) I markjorden før forsøget var omkring 130 kg N(min) ha⁻¹, hvilket ikke kan ses i figur 5.



Figur 5 Mineralsk N (N(min)) i markforsøg. **A)** tilvækst i N(min) over forsøgets 52 dage for 11 behandlinger (9 gødsninger af 120 kg N ha⁻¹ + 1 gødsning af 50,5 kg N ha⁻¹ (Kløvergræsensilage) + 1 ugødsket kontrol). Fejllinjer angiver minimums og maksimums målinger af forsøgets tre gentagelser. Dog kun 1 gentagelse Rødkløverpiller og 2 gentagelser for Frisk Rødkløver. Tilvæksten er målt i blandede del-parceller.

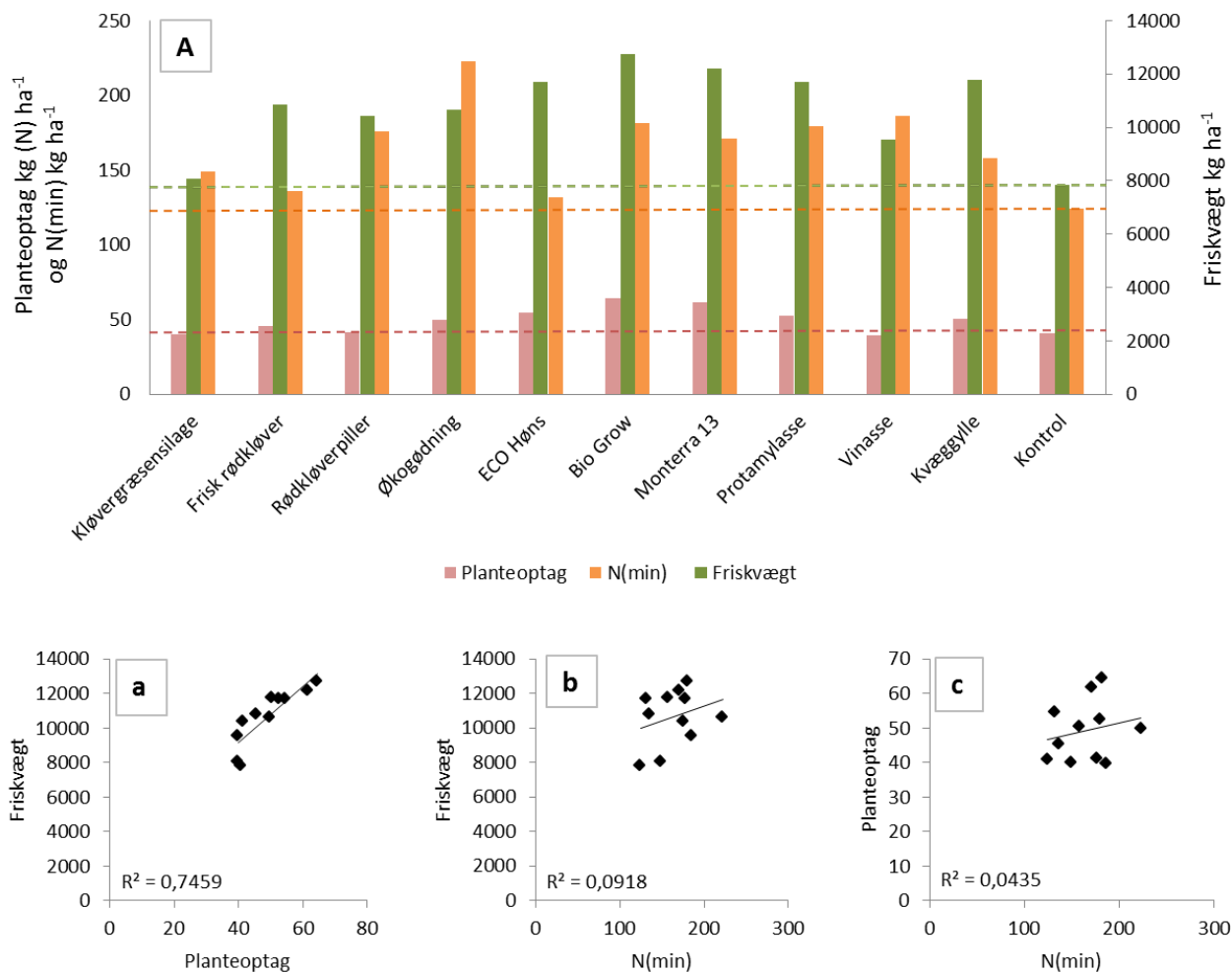
B) Netto-mineralisering er beregnet som behandlingens N(min) tilvækst fratrukket N(min) tilvækst i kontrollen (F4), signifikant forskel i N(min)-tilvækst for behandlingerne i forhold til kontrollen angivet: **=p<0,01, *=p<0,05

Biomasse og N-optag i afgrøden

Figur 6A viser biomassen (Friskvægt) af spinat og afgrødens indhold total-N ved høst. Samt N(min)-koncentrationen i jorden ved forsøgets afslutning, for hver behandling. N(min) er målt i den blændede del-parcel og angiver koncentrationen i jorden uden plantevækst. Det ses af figur 6A at både biomasse og optag af N øges for nogle behandlinger i forhold til kontrol, men der er ikke nogen tydelig sammenhæng mellem øget N(min) i jorden og større biomasse eller planteoptag af N for afgrøden. Korrelationen mellem de tre datasæt er vist i figur 6a-c, og her ses en tydelig sammenhæng ($r^2=0,74$) mellem a) afgrødens tilvækst i friskvægt og optag af N, men nær ingen sammenhæng mellem N(min) og henholdsvis b) friskvægt ($r^2=0,09$) og c) planteoptag ($r^2=0,04$).

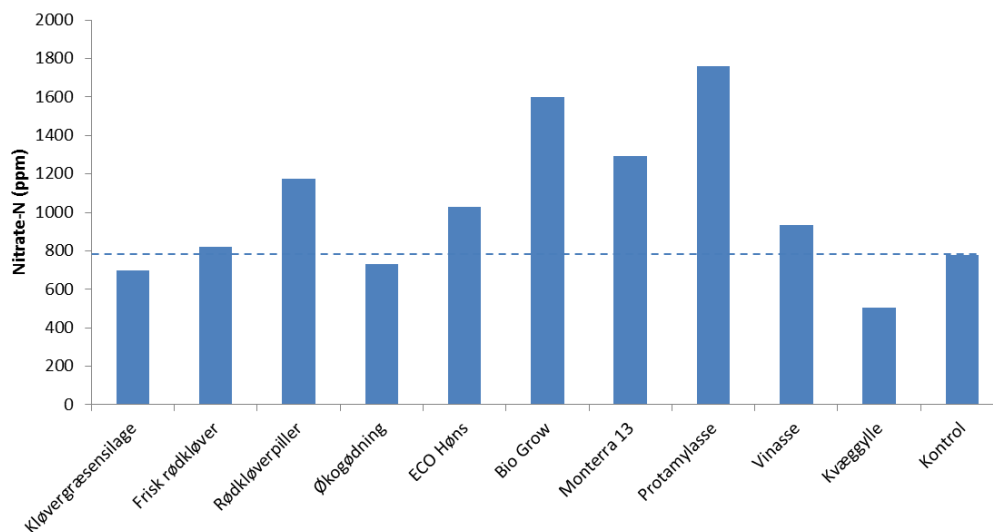
N(min) koncentrationen i jorden er i figur 4A vist som et øjebliksbillede af koncentrationen til dag 50, og ikke som tilvæksten af N(min) gennem forsøget. Det er for at illustrer mængden af N(min) der samlet set har været tilgængeligt for afgrøden. N(min) koncentrationen for dag 50 er målt i den blændede del-parcel og inkludere de ca. 130 kg N ha⁻¹ tilgængeligt i jorden før afgrøden blev sået og organisk gødning tilført. Spinat har et mellemstort N-behov, 80-120 kg N ha⁻¹ (GartneriRådgivningen 2008)

Bladanalyse af afgrøden viser også indholdet af nitrat i bladene, resultaterne er præsenteret i figur 7. Der ses en tydelig forskel mellem nitrat indholdet i bladene for afgrøden gødet med de forskellige gødninger. Spinat dyrket i parceller gødsket med Kvæggylle, Økogødning og Kløvergræsensilage indeholder mindre nitrat end spinat dyrket i den ugødskede kontrol. Spinat dyrket i parceller gødet med Frisk rødkløver, Rødkløverpillen, ECO Høns, Bio Grow, Monterra 13, Protamylasse og Vinasse indeholder mere nitrat end spinat dyrket i den ugødskede kontrol. Spinat dyrket med Protamylasse og Bio Grow har omkring dobbelt så høje nitratindhold som spinat dyrket ved kontrollen. Heller ikke her ses nogen korrelation mellem indholdet af nitrat-N i planterne og koncentrationen af N(min) i jorden ved forsøgets afslutning ($r^2=0,065$).



Figur 6 (A) Tilvæksten i friskvægt for spinaten samt planteroptag af total-N målt til dag 50. Vist sammen med mineralsk N i de blændede del-parceller. Stiplede linjer angiver kontrolniveau. Da kontrollens tilvækst fra dag 0 til dag 50 i de blændede del-parceller næsten er lig 0 kan afstanden fra den stiplede linjer for N(min) til toppen af søjlen for behandlingerne læses som tilført N(min) fra gødningen over forsøgsperioden. For ECO Høns er det vigtigt at være opmærksom på at der formentlig er en fejl i N(min)-målinger, lige som det for Frisk rødkløver og Rødkløverpiller er vigtigt at være opmærksom på at de bygger på hhv. 2 og 1 gentagende målinger.

Diagram a, b og c viser korrelationen mellem a) Planteoptaget af N i kg total-N ha⁻¹ og Friskvægten af biomasse (afgrøde) i kg ha⁻¹ b) N(min) koncentrationen dag 50 i blændede del-parceller i kg N(min) ha⁻¹ og Friskvægten af biomasse i kg ha⁻¹ c) Planteoptaget af N i kg (N) ha⁻¹ og N(min) koncentrationen dag 50 i blændede del-parceller i kg (N(min)) ha⁻¹



Figur 7: Indholdet af nitrat i spinatbladene ved høst vist sammen med hvilken behandling jorden har fået. Nitrat er analyseret i bladenes friskvægt. Den stiplede linje viser nitratinholdet i Kontrol.

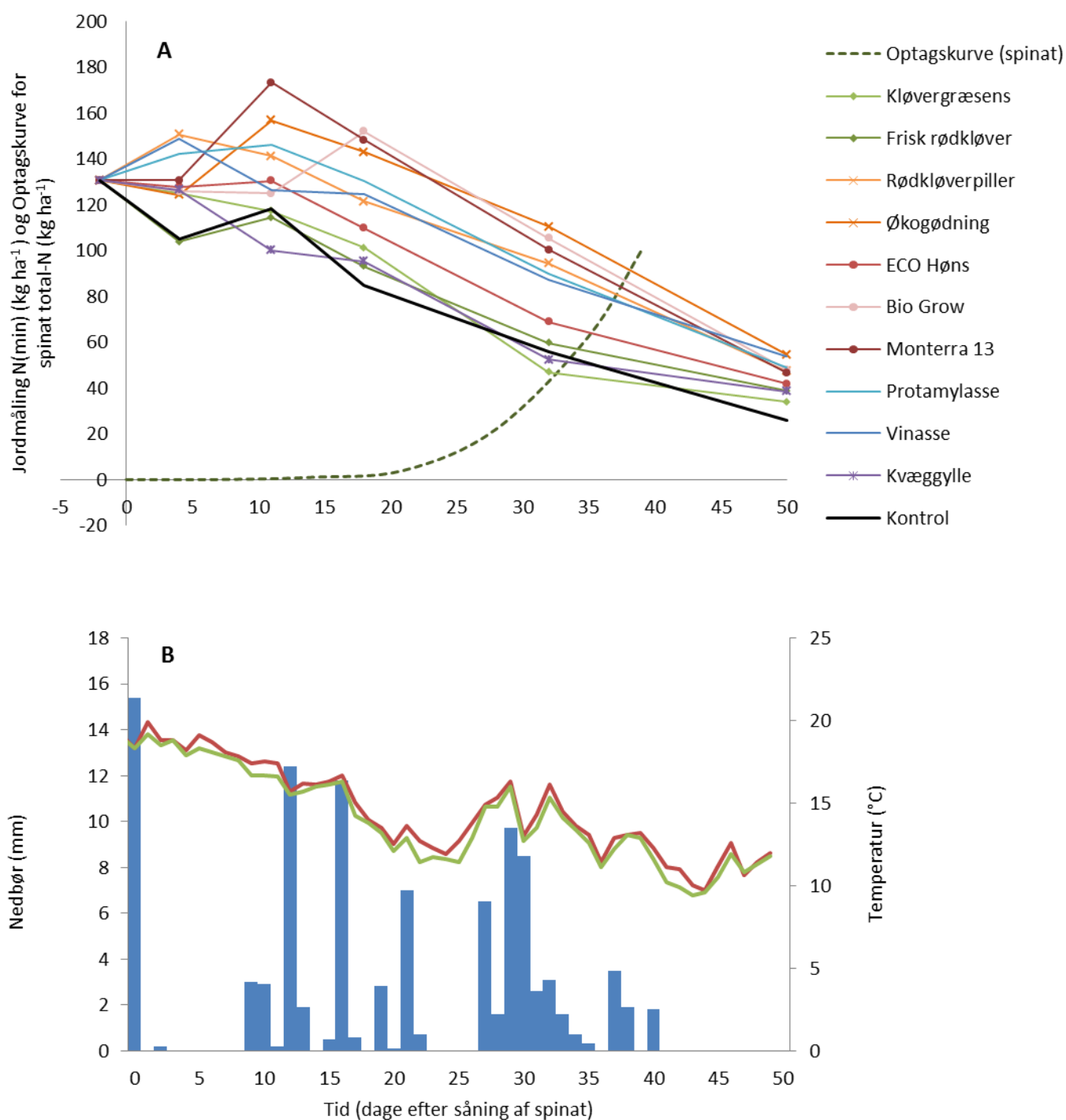
Mineralsk N målt under afgrøden

Koncentrationen af N(min) er målt i parcellerne mellem den voksende afgrøde på 6 tidspunkter igennem forsøgsperioden. Resultaterne er præsenteret i figur 8A sammen med en teoretisk kurve for afgrødens optag af N (Stiplet kurve). Figur 8B viser klimadata fra en nærliggende vejrstation (DMI Årsløv 2015) for at illustrere den høje nedbør i forsøgsperioden. Den samlede nedbør i perioden er 101 mm, med højeste daglige måling på 15 mm (Landsgennemsnittet for september 2015 lå på 94 mm, hvilket er 52 % over 10 års gennemsnittet (2001-2010; 62 mm, DMI). Gennemsnitstemperaturen er 14,8 °C, med 20 °C som højeste og 9,7 °C som laveste døgnmiddeltemperatur i perioden.

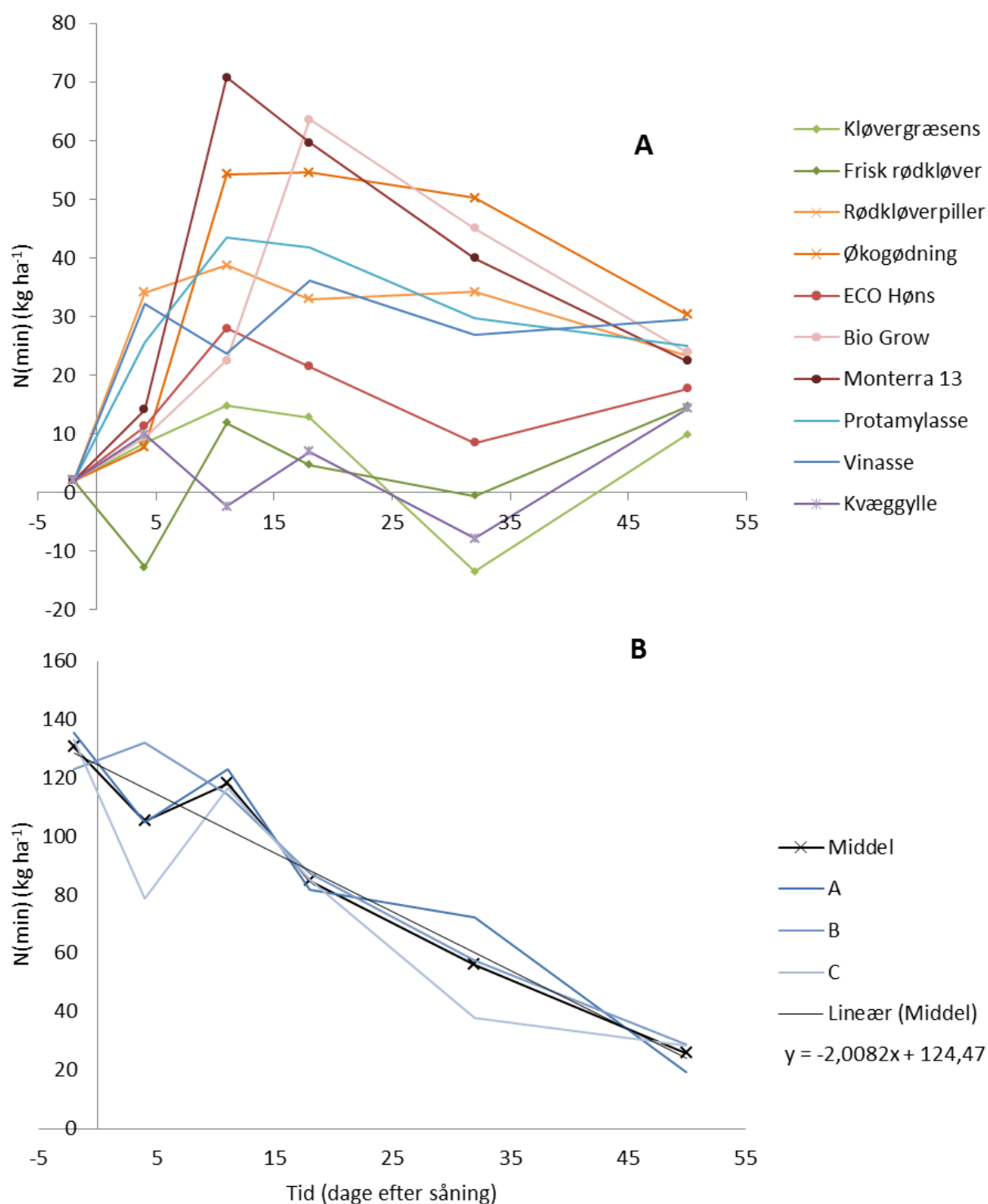
N(min) koncentrationen i jorden falde fra dag 11 efter såning og gennem resten af forsøgsperioden, mellem dag 11 og dag 20-30 ser nedbør ud til at være hovedårsagen til faldet i N(min). Herefter ser faldet ud til at være påvirket både af afgrødens optag og nedbør.

I figur 9A er N(min)-koncentrationen, korrigeret for koncentrationen af N(min) i kontrolparcellerne. Den er præsenteret så dynamikkerne i forsøget ses tydeligere. Netto-mineralisering, finder sted over x-aksen, netto-immobilisering under. Kløvergræsensilage og Frisk rødkløver samt Kvæggylle svinger mellem netto-mineralisering og netto-immobilisering helt frem til dag 32, mens der kun måles netto-mineralisering for de andre gødningsbehandlinger.

Figur 9B viser de kontrolmålinger der er benyttet til korrigerende af målingerne i figur 9A. For at korrigere for forskelle mellem de tre gentagne kontrolbehandling er en tendenslinje beregnet for gennemsnittet dem. Det er tendenslinjens værdier der er benyttet til korrigerende i figur 9A. Økogødning, Bio Grow og Monterra 13 giver de højeste netto-mineraliseringer i forsøget, i de første 10-20 dage, mens Kløvergræsensilage, Frisk rødkløver og Kvæggylle har den laveste netto-mineralisering hele forsøget igennem. De sidste fire lægger sig midt imellem. Ser man på mineraliseringsraten i de første 10-20 dage mineralisere Vinasse, Protamylasse og Rødkløverpiller hurtigst, dernæst Monterra 13 og Økogødning, og til sidst Bio Grow.



Figur 8 Grafisk oversigt over data fra markforsøget. **A)** Koncentration af N(min) i markens øverste lag (ca. 25 cm) under 11 behandlinger (10 gødninger + ugødsket kontrol) over 52 dage, målingerne er taget i den del af parcellerne med plantevækst. Optagskurve for spinat modeleret efter (Feller et al. 2011), Spinat, Frishmarkt. **B)** Nedbør (søjler) og temperatur (kurver) i forsøgsperioden fra DMI's klimastation Årslev nær forsøgsmarken (DMI Årslev 2015). Rød kurve = lufttemperatur i 2 m. højde, grøn kurve = lufttemperatur på græsniveau. Temperatur er angivet i døgnmiddelværdier. Nedbør for dag -1 og -2 er 0 mm (ikke vist).



Figur 9. Mineralsk N, N(min), i markforsøget. **A)** Koncentration af N(min) i markens øverste lag (ca. 25 cm) under 10 behandlinger (10 gødninger) over 52 dage, korregeret for koncentrationen af N(min) i kontrol (tendens). **B)** Beregning af tendens for koncentrationen af N(min) i kontrol, Lineær(Middel) viser en lineær tendenslinje, for gennemsnittet (Middel) af de tre gentagelser (A, B og C) for den ugødskede kontrol.

Inkubation

Mineralisering af N over tid

Figur 10 viser resultaterne af N(min) målinger i inkubationsforsøget, ved de tre temperaturer (8, 15 og 22 °C). Dag 0 målingerne for Vinassen er ikke medtaget på grund af fejl i forsøget.

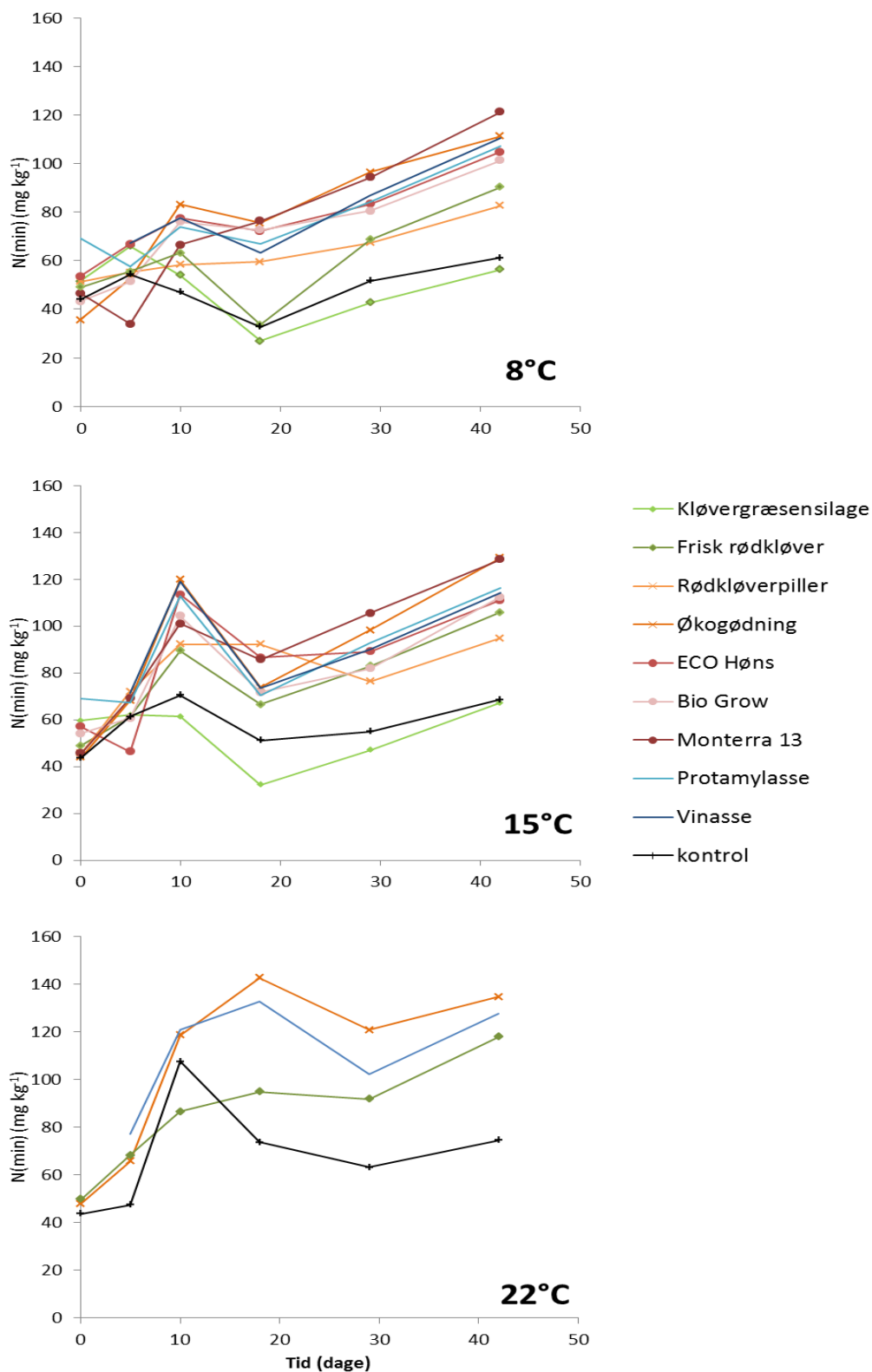
Kontrol er vist som en sort kurve i diagrammerne. Gødningernes kurvers placering i forhold til kontrollen angiver om de viser netto-mineraliseringen (over Kontrol) eller nettoimmobilisering (under Kontrol) på det givne tidspunkt i forsøget.

De to øverste diagrammer (8 og 15 °C) viser en dynamisk udvikling i N(min)-koncentrationen i forsøgets første 18 dage, ved 8 °C ligger kurverne samlet (mellem 40-90 mg N(min) kg⁻¹) i forhold til ved 15 °C hvor de ligger mere spredt (mellem 40-120 mg N(min) kg⁻¹) i forsøgets første 18 dage. De tre gødninger inkuberet ved 22 °C er vist i det nederste diagram, og her når N(min)-koncentrationen helt op på 140 mg N(min) kg⁻¹ for Økogødning.

Den bratte stigning mellem dag 5 og dag 10 der ses ved alle tre temperature kan være forårsaget af en fejl i målingerne til dag 10. Det er ikke umuligt at en mineraliseringskurve bølger op og ned efter inkubering af et materiale, men at det sker så relativt konsekvent for alle behandlinger, inklusiv kontrollen, ved tre forskellige temperature, virker usandsynligt.

Efter de første 18 dage stiger de fleste behandlings N(min)-koncentrationer med tilnærmelsesvis ens rater gennem resten af forsøget. For temperaturene 8 og 15 °C er N(min) koncentrationen ved dag 42 faldende i rækkefølgen Monterra 13/Økogødning >

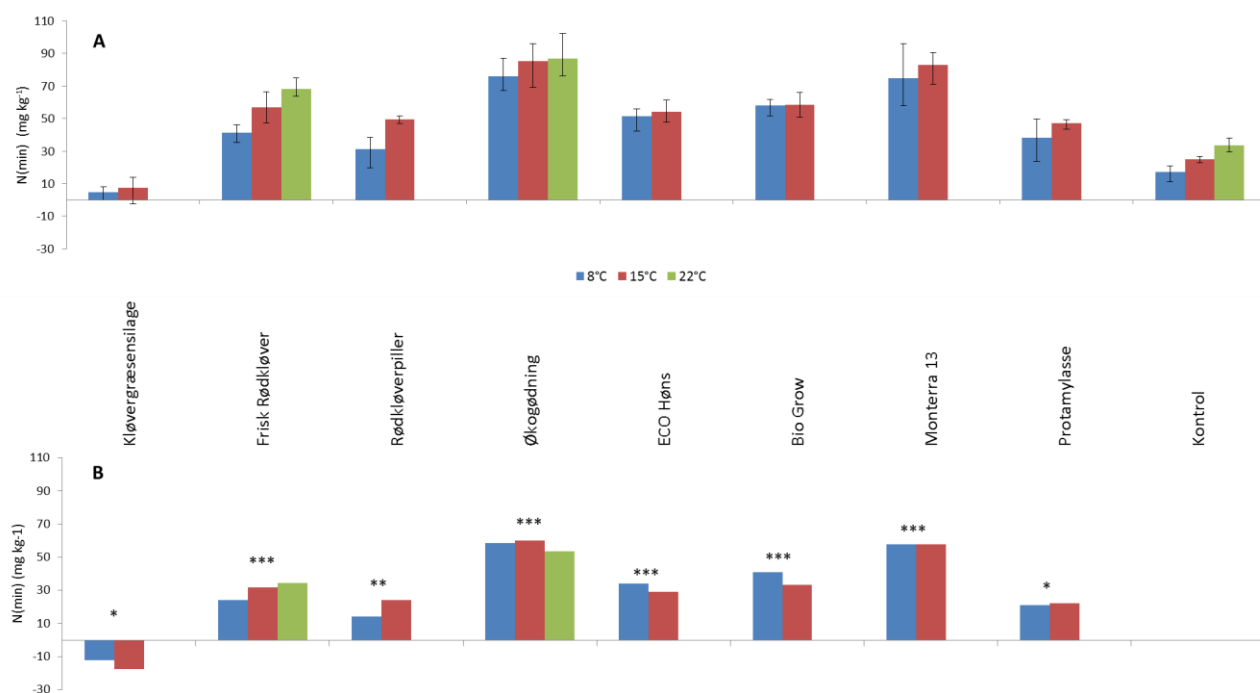
Vinasse/Protamylasse > ECO Høns/Bio Grow > Frisk rødkløver > Rødkløverpiller > Kontrol > Kløvergræsensilage. De fire behandlinger ved 22 °C følger sammen mønster med Økogødning > Vinasse > Frisk Rødkløver > Kontrol. Ved forsøgets afslutning ligger N(min)-koncentrationerne for 8, 15 og 22 °C mellem henholdsvis 550-120, 70-130 og 75-135 mg N(min) kg⁻¹



Figur 10. N(min) målt til 6 tidspunkter for hver behandling (9 gødninger + 1 ugødsket kontrol) inkuberet ved hhv. 8 og 15 °C samt for 4 behandlinger (3 gødninger + 1 ugødsket kontrol) inkuberet ved 22 °C. Dag 0 målinger ved tre temperaturer for inkubering af Vinasse ikke vist på grund af fejl i forsøget. For alle behandlinger er der tilført svarende til 300 kg total-N ha⁻¹ til jorden.

Tilvækst mineralsk N og temperatur

Figur 11 præsenterer tilvæksten af N(min) i inkubationsforsøget efter 42 dage ved tre temperature (A) og netto-mineraliseringen for hver gødningsbehandling (B). Kun 3 behandlinger (2 gødninger + 1 ugødet kontrol) blev inkuberet ved 22 °C. Vinasse er ikke medtaget på grund af fejl i forsøget.

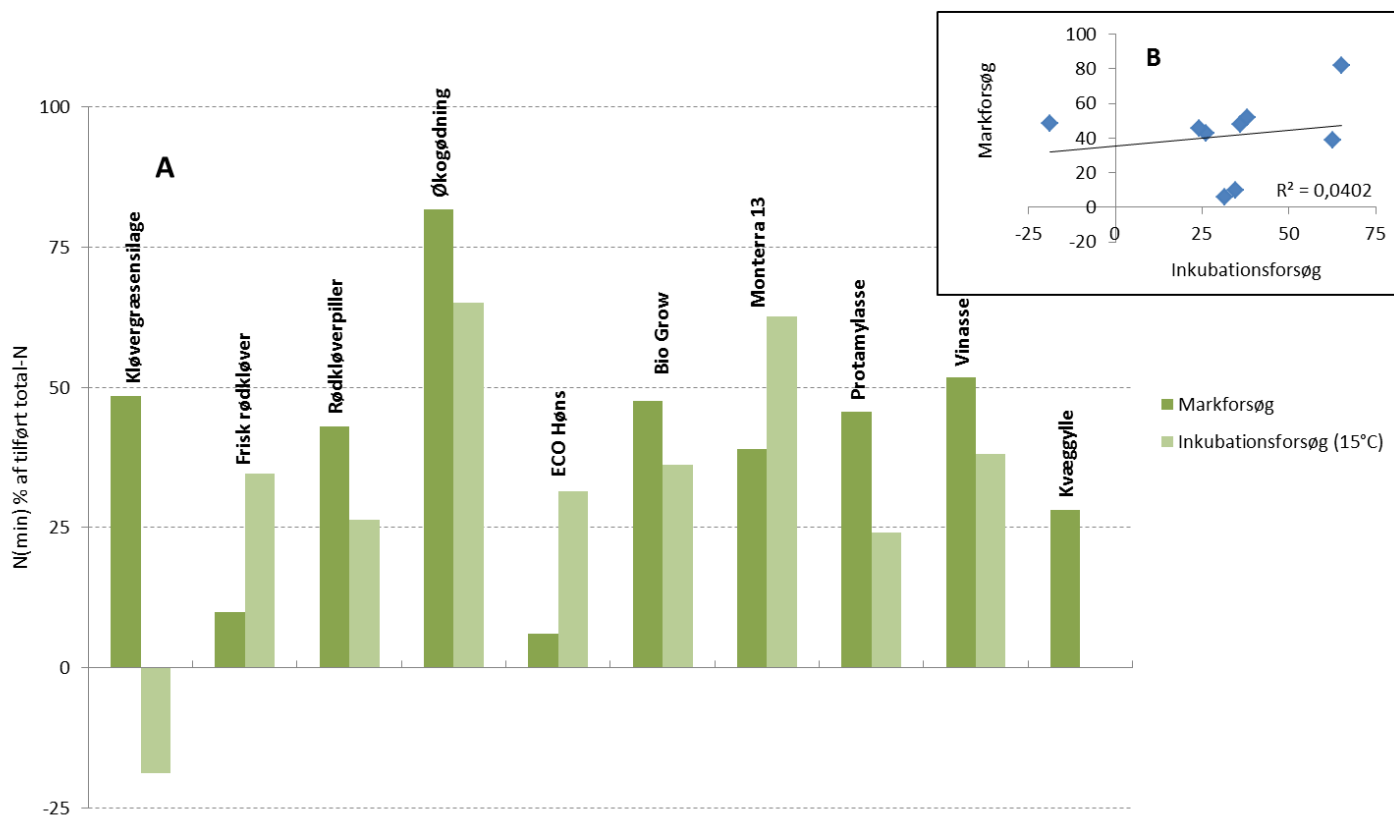


Figur 11: **A)** Tilvæksten i mineralsk N, N(min), i inkubationsforsøg med 10 behandlinger (9 gødninger (total-N tilført = 300 kg ha⁻¹) + ugødsket kontrol) ved tre temperature. Fejllinjer angiver minimums og maksimums værdier målinger. Inkubation ved 22 °C er kun gennemført for 3 behandlinger (2 gødninger (total-N tilført = 300 kg ha⁻¹) + ugødsket kontrol). **B)** Netto-mineralisering beregnet som tilvæksten i behandlingen fratrullet tilvæksten i kontrollen (F7). Signifikans i forskellen mellem tilvækst i behandling og kontrol angivet ved *=p<0,05 **=p<0,01 ***=p<0

Øgningen af temperatur fra 8 °C til 15 og 22 °C har en signifikant virkning på mineraliseringen (p<0,05 (15 °C), p<0 (22 °C)) og alle behandlinger har en signifikant virkning på mineraliseringen i forhold til den ugødskede kontrol (se Figur 11B). Der er ikke fundet nogen signifikant vekselvirkning mellem temperatur og behandling i forsøget, for hver behandling stiger tilvæksten i N(min) altså med samme mængde når temperaturen stiger. Alle behandlinger viser netto-mineralisering på nær Kløvergræsensilagen der viser netto-immobilisering. Statistisk analyse af tilvæksten i N(min) i forhold til kontrollen viser en signifikant tilvækst af alle behandlinger (Figur 11B).

Gødningernes effektivitet

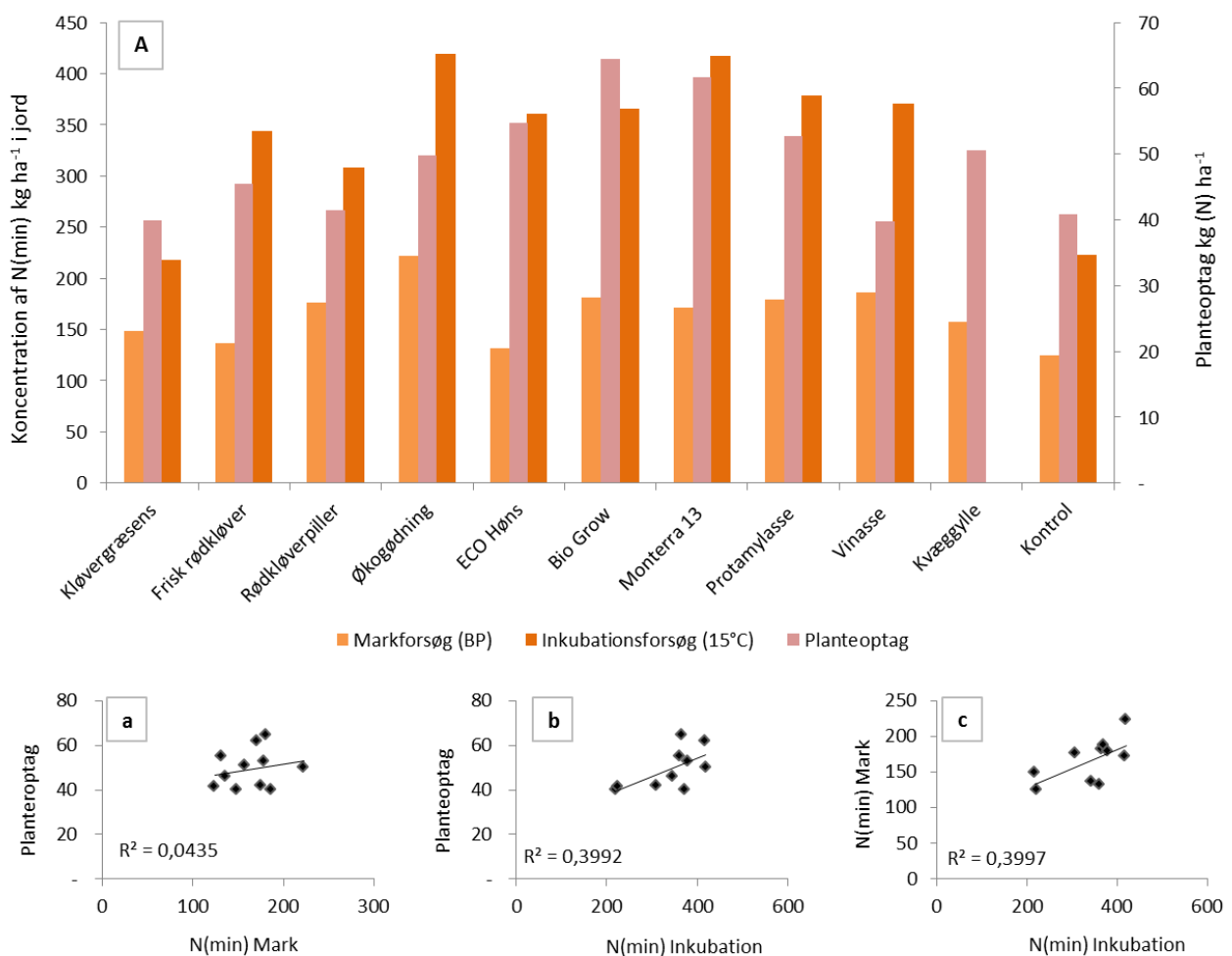
På baggrund af netto-mineralisering i mark- og inkubationsforsøget beregnes mineraliseringsprocenten (F7) for hver gødningsbehandling. Mineraliseringsprocenten for Vinasse i inkubationsforsøget er anslået ved at beregne en tendenslinje gennem dag 4, 18, 28 og 42 målingerne ved 15 °C, skæring med y-aksen er benyttet som dag 0 værdi. Resultaterne er vist i figur 12A, sammen med korrelationen mellem resultaterne fra de to forsøg figur 12B.



Figur 12 (A) mineraliseringsprocenten for markforsøget beregnet som netto-mineralisering i forhold de tilførte 120 kg total-N ha⁻¹ (50,5 kg total-N ha⁻¹ for Kløvergræsensilage), og mineraliseringsprocenten i inkubationsforsøget beregnet som netto-mineralisering i forhold til de tilførte 300 kg total-N ha⁻¹. Mineralisering (%) for Vinasse i inkubationsføget er anslået. (B) Korrelation mellem mineraliseringsprocenterne for de to forsøg ($r^2 = 0,045$).

Der ses ikke en klar sammenhæng mellem mineraliseringsprocenter målt for de to forsøg ($r^2=0,045$).

Figur 13A viser N(min)-koncentrationerne målt ved de to forsøgs afslutninger, for markforsøget i de blandede del-parceller, præsenteret sammen med planteoptaget for afgrøden i markforsøget. Det kunne se ud som om afgrødens N-optag i marken kan forklares bedre af N(min)-koncentrationer målt i inkubationsforsøget ($r^2=0,39$) end N(min)-koncentrationer målt i markforsøget ($r^2=0,04$). Det ser også ud til at hvis de to forsøg sammenlignes på N(min)-koncentrationer ved afslutning i stedet for mineraliseringsprocent, er inkubationsforsøget bedre til at forklarer målingerne i marken ($r^2=0,39$)



Figur 13. Søjlediagram **(A)** af koncentrationen af N(min) i jorden ved forsøgenes afslutning for Markforsøget (efter 52 dage, målt i blændet del-parcel) og Inkubationsforsøget (efter 42 dage), samt planteoptaget af N for spinat i markforsøget.

Korrelation mellem a) N(min) i markforsøget og planteroptag i markforsøget, **b)** N(min) i inkubationsforsøget og planteoptag i markforsøget, **c)** N(min) i markforsøget og N(min) i inkubationsforsøget, vist under søjlediagrammet.

Diskussion

Mineraliseringen og målingsmetode

Mineraliseringen fra gødningernes organiske materiale er i dette speciale vurderet på baggrund af ændringer i koncentrationen af ammonium og nitrat i det øverste jordlag. I marken har nedbør og dermed vandbevægelsen ned gennem jordprofilen formentlig havet stor indflydelse på N(min)-koncentrationen. Lige som optag fra planterødder har haft indflydelse i slutningen af forsøget. I figur 8B ses at en stor mængde nedbør fandt sted, mellem dag 10 og dag 20. Dette har formentlig medført det fald i kurverne der ses i figur 8A efter dag 11. Derfor er vurdering af mineraliseringen foretaget på baggrund af målingerne fra dag -2 til dag 11. Stigninger eller fald i kurverne i figur 9A fortolkes som netto-mineralisering (stigning) eller nettoimmobilisering (fald) efter gødskning, i forhold til kontrolbehandlingen. Det er dog vigtigt at være opmærksom på at de rene gennemsnit af målinger præsenteret i dette speciale bygger på til tider store variationer mellem gentagelser.

En bekymring omkring designet af markforsøget er at de tre blokke er placeret på en lige række, hvilket kan gøre at målingerne er følsomme overfor hvor i forsøgsopsætningen de er foretaget. Var der f.eks. en topografisk hældning ned over marken, ændring i jordfugtighed eller andre forhold der påvirker nedbrydningen. Har dette måske haft større indflydelse på målinger af N(min) i parcellerne, end gødningsbehandlingen. Sådanne forskelle er ikke undersøgt i praksis. I stedet er der lavet en statistisk analyse på data fra markforsøget, her ses ingen signifikant blokvirkning. Derfor antages det den enkelte måling ikke er påvirket mere af sin placering i forsøget end af parcellens gødningsbehandling.

Målingen af N(min) i de ugødskede kontrolparceller skulle kunne give et billede af hvordan NIT forløber i marken uden gødskning. I figur 9B ses at der i blok A og C sker en mulig nettoimmobilisering i de første dage af forsøget. Dette kan være medført af fræsning og såning af parcellerne dag 0. Variationerne i kontrollen er korrigeret med en tendenslinje, hvilken kan være en fejlkilde i figur 9A.

Opdelingen af organisk materiale

I dette speciale benyttes betegnelserne 'let nedbrydeligt' og 'let tilgængeligt' om det organiske materiale. Her forstås let nedbrydelige forbindelser, som forbindelse der kan opløses i jordvæsken. Det er vigtigt at være opmærksom på at selv om organisk materiale er let nedbrydeligt er det ikke nødvendigvis let tilgængelige for mikroorganismer i jorden. For at et materiale er let tilgængeligt må det allerede være opløst i jordvæsken. Alternativ kan det være skærmet af f.eks. cellevægge der først må nedbrydes før det let opløselige materiale bliver let tilgængeligt.

Nogle steder i litteraturen bruges terminologien fra analyse af husdyrfoder på baggrund af 'The detergent system of feed analyses' udarbejdet af Peter Van Soest i 1963. Her defineres NDS som den samlede fordøjelige fraktion af kulhydrater og proteiner, samt lipider og aske (Udén et al. 2005). Hos Jensen & Magid (2009) rangeres de organiske forbindelser i plantemateriale efter hvor let de nedbrydes. Her gengivet fra hurtigt nedbrudt til langsom nedbrydning: Sukker, stivelse og simple proteiner < Rå protein < Hemicellulose < Cellulose < Fedt og voks < Lignin (Jensen & Magid 2009). Andre forskere igen benytter opdelinger af det organiske materiale i vandopløseligt N, aminosyre N eller råfibre (Delin et al. 2012). Dertil kommer mineralisering/immobiliserings forsøg lavet med rene substrater som glukose og holocellulose (Cookson et al. 2002)

Da der ikke er lavet andre analyser af gødningernes biokemiske sammensætning end C/N forholdet i dette speciale. Bruges de brede betegnelser let nedbrydeligt og svært nedbrydeligt om organisk materiale. Gødningerne varierer formentlig i deres forhold mellem let og svært nedbrydeligt materiale, fra de animalske gødninger og Økogødning med deres høje protein indhold (Tabel 1) til det uforarbejdede, hele plantemateriale i Friske kløvergræs. Disse forhold afhænger dog af flere mere eller mindre ukendte forhold, som kød-til-ben/fjer forholdet i de animalske produkter, kerne-til-skal forholdet i Økogødning og vækst stadige og findeling af Frisk kløvergræs. Derfor er det med mange forbehold at der kan drages konklusioner omkring sammenhængen af MIT og gødningernes biokemiske sammensætning i dette speciale.

En vigtig tidsdimension

Selv det mest modstandsdygtige organisk materiale vil med tiden bliver nedbrudt i jorden, langt hovedparten af organisk gødning bliver dog nedbrudt inden for en kortere tidsperiode. For f.eks.

forventes det for grøngødninger og efterafgrøder, at det meste af mineralisering af N at finde sted i løbet af 1-2 måneder (Thorup-Kristensen et al. 2003). Magid et al. undersøgte nedbrydningen i 8 plantearter, de tre af dem med højest indhold af let nedbrydeligt organisk materiale tabte 50-70 % af deres N-indhold i løbet af de første 35 dage (Magid et al. 2004).

Der kan altså være en markant forskel i den tid det tager at nedbryde forskellige organiske materialer. I grønsagsdyrkning arbejdes med afgrøder hvor dyrkningstiden kan være så korte som 30-45 dage, og samtidig kan have høje N-behov (GartneriRådgivningen 2015). Derfor er det vigtigt at forstå dynamikkerne i mineralisering og immobilisering inden for kort tid efter det organiske materiale tilføres jorden. Hvis brugen af organiske gødninger til grønsagsproduktion skal optimeres. For at få den vigtigste tidshorisont med i diskussionen, bruges betegnelserne mineraliseringsrate om netto-mineraliseringen over tid, hvorimod netto-mineraliseringen og netto-immobiliseringen beskriver resultatet af de to modsatte processer til et bestemt tidspunkt. Brutto-immobilisering og immobiliseringsrate er ikke målt i dette speciale.

Mineraliseringsrater for gødningerne, kan ses i figur 9A mellem dag -2 og dag 11. Det ser ud til at Økogødning og Monterra 13 har de højeste mineraliseringsrater, efterfulgt af Vinasse, Protamylasse og Rødkløverpiller, der ser ud til at mineralisere lidt hurtigere en Bio Grow. En umiddelbar immobilisering er at forvente fra de animalske gødninger, på baggrund af et antageligt højt indhold af let nedbrydeligt protein. Det er muligvis denne immobilisering der kommer til udtryk i forskellen mellem stigningen fra dag -2 til dag 4 i forhold til stigningen fra dag 4 til dag 11. Hvis ingen immobilisering fandt sted mellem dag -2 og dag 4, og mineraliseringen har en konstant rate. Burde de to stigninger følge sammen mønster, men hvor koncentrationen af N(min) for Monterra 13 kun stiger med ca. $10 \text{ kg N(min) ha}^{-1}$ i løbet af de første 6 dage, stiger den til ca. $70 \text{ kg N(min) ha}^{-1}$ i løbet af de næste 6 dage. Dette kan være resultatet af remineralisering efter en hurtig opformering af mikroorganismer. På trods af den relativt hurtige mineralisering, frigives kun 39 % af det med Monterra 13 tilførte total-N over hele forsøgsperioden. Bio Grow følger sammen mønster som Monterra 13, men med en noget lavere mineraliseringsrate, og ender med at have mineraliseret 47 % af total-N. Rigtig interessant er Økogødningen, der også følger samme mønster som Monterra 13. Økogødningen har formentlig også et højt indhold af protein, og selv om den frem til dag 11 ikke har en lige så høj netto-mineralisering som Monterra 13 ender den med at have mineraliseret 81 % af total-N.

Afgrødens kvælstof-udnyttelse

Dette speciale havde til formål at vurdere gødningerne til brug i grøntsagsproduktion. Tre gødninger, Monterra 13, Bio Grow og Økogødningen, ser ud til at opnå høje netto-mineraliseringen af N(min) før afgrøden kan forventes at have behov for det. Afgrødens N-optag afhænger dog af andre faktorer end N(min)-koncentrationen i jorden. Afgrødens udnyttelses effektivitet af N er forsøgt estimeret med bladanalyser og måling af friskvægt (Figur 6A). Da jordens indhold af N(min) allerede var ret højt før gødskning er det ikke sikkert der er en synlig sammenhæng mellem gødningsbehandling og tilvækst i biomasse. Eller i optaget af N i afgrøden. Der er heller ingen signifikant forskel i biomasse ($p=0,68$) eller N-optag ($p=0,68$) for afgrøde dyrket med forskellige gødninger, i forhold til afgrøden dyrket i den ugødskede kontrol.

I figur 6A ser det ud til at der findes en forskel biomasse og N-optag for afgrøden, mellem de forskellige gødningsbehandlinger. Der er dog ikke nogen korrelation mellem N(min) koncentrationen i jorden ved forsøgets afslutning (blændede del-parceller) og hvor meget afgrødens henholdsvis biomasse ($r^2=0,09$) eller N-optag ($r^2=0,04$) øges. Den forskel der tilsyneladende er i figur 6A stammer måske fra effekten af andre nærringstoffer i de forskellige gødningerne, men det kan ikke vises ud fra markforsøget.

Dette forsøg kan altså ikke konkludere om den øgede mineralisering fra de mest effektive gødninger har ført til et bedre udbytte af afgrøden end mineraliseringen fra de andre gødninger. Alle gødningerne når i et af de to forsøg op på at have mineraliseret 25-50 % af deres N i løbet af forsøgenes 40-50 dage.

Jordens mineralske kvælstof

Jordens indhold af N(min) kan have stor betydning for nedbrydningsraten for organiske materialer med et lavt indhold af let tilgængeligt N (Recous et al. 1995). I både mark- og inkubationsforsøget er indholdet af N(min) i jorden svarende til over 100 kg N(min) ha⁻¹. Mikrobiomet kan benytte sig af både let tilgængeligt N fra det tilførte materiale og N(min) i jorden til opformering. Derfor bliver nedbrydningen af materiale med et lavt indhold af let tilgængeligt N ikke begrænset af mikrobiomets adgang til N. Det antages at nedbrydningsraten af gødningerne ikke vil være N-begrænset, og i stedet er styret af let tilgængeligt C i gødningerne.

Netto immobilisering

Det var kun Kløvergræsensilage, og kun i inkubationsforsøget, der viste netto-immobilisering efter forsøgenes 40-50 dage. Frisk rødløver viser netto-immobilisering i de første 4 dage efter såning i markforsøget, men ikke på noget tidspunkt i inkubationsforsøget. Kløvergræsensilagen derimod viser netto-mineralisering i begyndelsen af markforsøget, og netto-immobilisering i løbet af inkubationsforsøget. Forskellen mellem de to forsøg kan være at Frisk rødkløver og Kløvergræsensilage begge blev opbevaret på frost mellem markforsøget og inkubationsforsøget, hvilket kan have medført ændringer i materialet fra det ene forsøg til det andet.

Forudsigelse af MIT på baggrund af inkubationsforsøg

Det andet formål dette speciale havde var at undersøge om inkubering af gødningerne i et laboratorieforsøg, kunne ”forudse” mineralisering af gødningerne på friland. Da forskellige mængder total-N blev tilført jorden i de to forsøg, sammenlignes de på baggrund af mineraliseringsprocenter (Figur 12A). Mineraliseringsprocenterne fra inkubationsforsøget kan dog ikke forklare mineraliseringsprocenterne fra markforsøget ($r^2=0,04$). For en sikkerheds skyld blev korrelationen mellem N(min)-koncentrationer ved de to forsøgs afslutning også beregnet (Figur 13c). Her kunne det se ud til at N(min)-koncentrationerne fra inkubationsforsøget er i stand til at forklare 40 % af N(min)-koncentrationerne i markforsøget ($r^2=0,399$). Det ser også ud til at N(min) koncentrationerne er bedre til at forklare afgrødens N-optag ($r^2=0,39$) end N(min) koncentrationerne fra markforsøget er ($r^2=0,04$).

Temperatur

I inkubationsforsøget blev temperaturens påvirkning af mineralisering undersøgt mellem 8 og 22 °C, og som forventet var der en generelt øget mineralisering med stigende temperatur. Nicolardot et al. konkludere, i deres forsøg med glukose og holocellulose (cellulose + hemicellulose) ved 4 temperature mellem 4 og 28 °C. At mineraliseringen eller immobiliseringsraterne ikke bare var påvirket af organisk materiale og temperatur, men at der også var en vekselvirkning mellem organisk materiale og temperatur (Nicolardot et al. 1994). En vekselvirkning mellem materialer og temperatur skulle medføre at nogle materialer er mere påvirket af temperatur end andre, der var dog ingen vekselvirkning mellem gødningsbehandling og tilvækst i N(min) i dette speciales inkubationsforsøg. I modsætning til de i dette speciale benyttede gødninger, er glukose og holocellulose forholdsvis homogene materialer. Dette kan være forklaringen på at Nicolardot et al. kan måle en vekselvirkning mellem materialerne og temperaturen. Hvor en eventuel

vekselvirkning i mellem temperatur og gødninger i dette speciale, drukner i mængden af variable.

Hvis immobiliseringsraten reduceres ved lave temperaturer, og hvis immobiliseringen af N fra mere komplekst materiale reduceres mere ved lave temperature end immobilisering af simple C-forbindelser. Vil dette måske kunne have en indflydelse på nedbrydningen af gødning inkorporeret i jorden i et køligt forår i forhold til et varmt efterår. Hvis lavere temperature reducere immobiliseringsraten uden at påvirke mineraliseringsraten i samme grad, kan det være en begrundelse for at undersøge brugen af de friske og plantebaserende tørrede gødninger ved lavere temperature. Hvor en reduceret immobiliseringsrate måske kunne resultere i højere netto-mineralisering.

En bedre forståelse af sammenhængen mellem MIT og temperatur er nødvendig for at svare på disse spørgsmål. Forsøg på friland vil formentlig kunne give mest viden på området. Da temperaturvariationer kan have en anden indflydelse på temperatureffekter end konstante temperatur (Cookson et al. 2002). Temperaturvariationer er svære at simulere i in vitro forsøg. På friland er det til gengæld en udfordring variationerne ikke vil være de samme fra år til år.

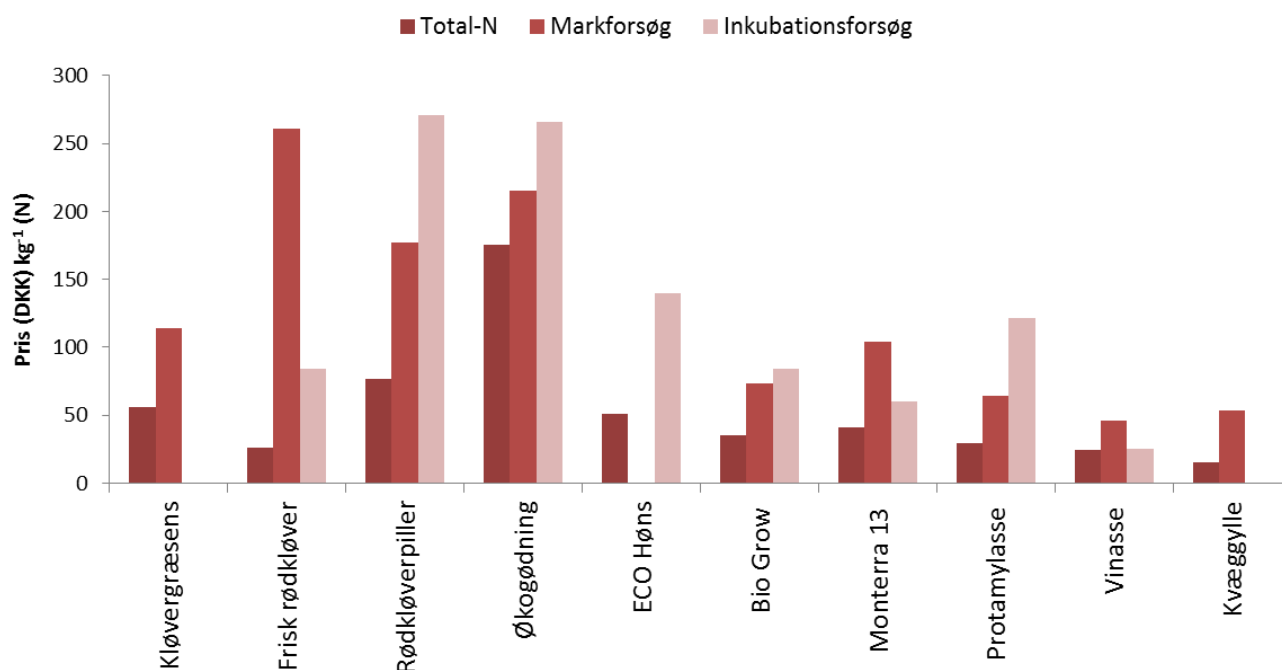
Valg af gødning

Flere faktorer end mineraliseringsprocenten har indflydelse på den enkelte grønsagsproducents valg af gødningstype. F.eks. pris af og adgang til gødningen. Ved indkøb af kommercielle gødninger angives prisen per kg total-N. Ud fra estimerede indkøbspriser eller produktionspriser for gødningerne lavet af GartneriRådgivningen (GartneriRådgivningen 2015) og mineraliseringsprocenter fra mark og inkubationsforsøg. Er prisen per kg mineraliseret N beregnet, den er vist i figur 14 sammen med prisen per kg total-N.

Fra figur 14 ses at der er en markant forskel i pris på Økogødning og Monterra 13 der ikke kan udlignes af den høje mineraliseringsprocent af Økogødning. Det ser ud til at det økonomisk bedst kan betale sig at benytte Protamylasse, Vinasse, Kvæggylle eller Monterra 13 og Bio Grow. Antaget at indholdet af andre næringsstoffer passer til afgrødes behov. Økogødning den der mineralisere den største andel af total-N men også den dyreste gødning. De animalske gødninger Monterra 13 og Bio Grow er meget billigere i forhold til Økogødning, også når man ser på prisen per kg mineraliseret N. Både ifølge mark og inkuberingsforsøg. For Protamylasse og Vinasse er mineraliseringensprocenterne ikke meget forskellige fra mineraliseringsprocenterne for Monterra

13 og Bio Grow. Det er prisen per kg mineraliseret N er heller ikke, men det totale N-indhold i de to animalske gødninger er højere. Dermed skal mindre mængder tilføres til jorden for at opnå samme resultater, hvilket kan være at foretrække.

En anden faktor der er særligt gældende for en bladafgrøde som spinat er indholdet af NO_3^- i afgrøden. Resultatet af bladanalyser kan ses i figur 7. I Figur 7 ser det ud til at der er en tydelig sammenhæng mellem gødningsbehandling og afgrødens indhold af nitrat. Der er dog nær ingen korrelation mellem N(min)-koncentrationen i jorden, eller mineraliseringsprocenten, og nitratinholdet i afgrøden. Derfor kan det ikke siges ud fra dette markforsøg om f.eks. brugen af Monterra 13 medfører et højere nitratinhold i afgrøden en brugen af f.eks. Økogødning.



Figur 14: Prisen (DKK) kg (N)⁻¹. Total-N viser prisen per kg total-N i gødningen, Markforsøg viser prisen per kg mineraliseret N fra gødningen i markforsøget, Inkubationsforsøg viser prisen per kg mineraliseret N fra gødningen i inkubationsforsøget. På grund af fejl i markforsøget er ECO Høns undladt i diagrammet.

Konklusion

Monterra 13, Bio Grow og Økogødning er de gødninger der mineralisere mest N i forhold til total-N. Monterra 13 og Bio Grow er dog markant billigere i indkøb end Økogødning. Både i forhold til total-N og mineraliseret N. Det var desværre ikke muligt at vurdere effekten af de forskellige gødninger på afgrøden, på grund af et allerede høj N(min) indhold i jorden før gødskning. Det er heller ikke, ud fra dette forsøg, muligt at sige om der er en sammenhæng mellem nitrat indholdet i afgrøden og valget af gødning. Er der en sammenhæng er Økogødningen dog klart at foretrække. Fra de første 11-18 dage af markforsøget ser det ud til at mineraliseringsraten er højest for Monterra 13 og Økogødning. Det er interessant mineraliseringsprocenten for de to gødninger er markant forskellig i markforsøget men ens i inkubationsforsøget. Videre forsøg med de to gødninger kunne være relevante.

Valget af gødning tages ikke kun på baggrund af N-indhold, men også på baggrund af pris, adgang (afstand, mulighed for køb) og indhold af andre mikro- og makronæringstoffer afgrøden har brug for eller helst ikke skal have for meget af. Der kunne ikke vises en forskel mellem gødningernes effektivitet ved temperature mellem 8 og 15 °C. Hvis netto-mineraliseringen fra gødninger som Kløvergræsensilage og Frisk rødkløver er højere ved lavere temperature, kan det være værd at overveje at anvende dem ved dyrkning i det tidlige forår i stedet for sommer eller tidligt efterår i Danmark. For at undersøge dette, vil inkubationsforsøg på friland over flere dyrkningssæsoner formentlig give bedre resultater end in vitro inkubationsforsøg.

Tak til

En særlig tak til GartneriRådgivningen. Markforsøget er lavet i samarbejde med GartneriRådgivningen, og de har støttet inkubationsforsøget økonomisk. Tak til Micheal Balle for at lægge mark og maskiner til markforsøget, og hjælpe med opsætningen.

Litteratur

- Andersen, M.K. & Jensen, L.S., 2001. Low soil temperature effects on short-term gross N mineralisation-immobilisation turnover after incorporation of a green manure. *Soil Biology and Biochemistry*, 33(4-5), pp.511–521.
- Bardgett, R., 2005. The Biology of Soil: A community and ecosystem approach. *Oxford University Press, Oxford Scholarship Online*.
- Bjarnason, S., 1988. Calculation of gross nitrogen immobilization and mineralization in soil. *Journal of Soil Science*, 39(3), pp.393–406.
- Bruun, S. et al., 2005. Empirical predictions of plant material C and N mineralization patterns from near infrared spectroscopy, stepwise chemical digestion and C/N ratios. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(12), pp.2283–2296.
- Case, S. et al., 2015. Unpublished. Report on stakeholder survey and market analyses (Denmark), Denmark.
- Chaves, B. et al., 2008. Manipulating the N release from 15 N-labelled celery residues by using straw and vinasses in Flanders (Belgium). *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 123, pp.151–160.
- Clark, K. et al., 2009. Nitrogen transformations in cold and frozen agricultural soils following organic amendments. *Soil Biology & Biochemistry*, 41, pp.348–356.
- Cookson, W.R., Cornforth, I.S. & Rowarth, J.S., 2002. Winter soil temperature (2 – 15C) effects on nitrogen transformations in clover green manure amended or unamended soils ; a laboratory and field study. *Soil Biology & Biochemistry*, 34, pp.1401–1415.
- DMI: Danmarks Meteorologiske Institut. www.dmi.dk
- DMI Årsløv 2015: Personlig korrespondance med Connie Krogh Damgaard, Århus Universitet, Årsløv
- Feller, C. et al., 2011. Düngung im Freilandgemüsebau. *Schriftenreihe des Leibniz-Instituts für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ)*, 3(4), pp.1–265.
- Fog, K., 1988. The Effect of Added Nitrogen on the Rate of Decomposition of Organic Matter. *Biological Reviews*, 63(3), pp.433–462.
- GartneriRådgivningen, 2015. Personlig korrespondance. Available at: Richard de Visser, Konsulent Økologi, Gartnerirådgivningen Odense.
- GartneriRådgivningen, 2008. Økologisk Dyrkningsvejledning: Spinat.
- Jarvis, S.C. et al., 1996. Nitrogen on Temperate Agricultural Soil: Processes and Measurement.

Advances in Agronomy, 57, pp.187–235.

Jensen, L.S., 2013. Animal Manure Fertiliser Value , Crop Utilisation and Soil Quality Impacts.

In *Animal Manure Recycling: Treatment and Management*. pp. 295–328.

Jensen, L.S. et al., 2005. Influence of biochemical quality on C and N mineralisation from a broad variety of plant materials in soil. *Plant and Soil*, 273(1-2), pp.307–326.

Jensen, L.S. & Magid, J., 2009. Nutrient Turnover In Soil After The Addition of Organic Matter.

In *Applied Plant Nutrition*. pp. 1–33.

Jespersen, L.M., 2015. Økologiens bidrag til samfundsgoder. Vidensyntese 2015, ICROFS Denmark.

Kuzyakov, Y., 2010. Priming effects: Interactions between living and dead organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(9), pp.1363–1371.

Luxhøi, J. et al., 2006. Prediction of Gross and Net Nitrogen Mineralization-Immobilization-Turnover from Respiration. *Soil Science Society of America Journal*, 70(2005), p.1121.

Magid, J., Luxhøi, J. & Lyshede, O.B., 2004. Decomposition of plant residues at low temperatures separates turnover of nitrogen and energy rich tissue components in time. *Plant and Soil*, 258(1991), pp.351–365.

Mary, B. & Recous, S., 1994. Measurement of nitrogen mineralization and immobilization fluxes in soil as a means of predicting net mineralization. *European Journal of Agronomy*, 3, pp.291–300.

NaturErhvervstyrelsen, 2015. Lovtidende A 2015 3. , (828), pp.1–8.

Recous, S. et al., 1995. Soil inorganic N availability: Effect on maize residue decomposition. *Soil Biology and Biochemistry*, 27(12), pp.1529–1538.

Rodehutsord, M. et al., 2002. Consequences of the Ban of By-Products from Terrestrial Animals in Livestock Feeding in Germany and The European Union: Alternatives, Nutrient and Energy Cycles, Plant Production, and Economic Aspects. *Archiv für Tierernaehrung*, 56(2), pp.67–91.

Sander, B. et al., 2006. A nitrogen mineralization model based on relationships for gross mineralization and immobilization. *Soil Biology & Biochemistry*, 38, pp.2712–2721.

SEGES 2015: Analyse af Kvæg- og svinegylles indhold af næringstoffer.

(https://projekter.vfl.dk/Projekter/GroentUdviklingsOgDemonstrationsprogram/2015/online_beslutningsstoettesystem_gylle_it_3176/Sider/Analyse-kvaeg-svinegylle-indhold-naeringsstoffer_pl_po_15_281_3176.aspx)

Appendix 1: R-kode

1.1 Nonlinear mixed-effects models af virkningen af hhv blok (placering af parcel) og behandling på mineraliseringen af N i markforsøget

```
> mark<-read.table("Mark15.txt", header=TRUE, sep="", dec=",")
> str(mark)
'data.frame': 198 obs. of 4 variables:
 $ gødning: Factor w/ 11 levels "A","BG","ECO",...: 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 ...
 $ gnt     : Factor w/ 3 levels "A","B","C": 1 2 3 1 2 3 1 2 3 1 ...
 $ dag     : int 0 0 0 6 6 6 13 13 13 20 ...
 $ NMIN    : num 131 131 131 143 118 ...
> library(nlme)

#Tilføj ny variable "parcel" til datasættet
> mark<-transform(mark,parcel=factor(gødning):factor(gnt))

> lme1<-lme(NMIN~factor(gødning)*factor(dag),random=~1|gnt/parcel,corr=corGaus(form =
~dag|gnt/parcel,nugget=T),data=mark,na.action=na.omit)

> lme2<-lme(NMIN~factor(gødning)*factor(dag),random=~1|parcel,corr=corGaus(form =
~dag|parcel,nugget=T),data=mark,na.action=na.omit)

> anova(lme1,lme2)
      Model df      AIC      BIC    logLik    Test  L.Ratio p-value
lme1      1 71 1286.054 1487.430 -572.0269
lme2      2 70 1286.029 1484.569 -573.0146 1 vs 2 1.975266 0.1599
```

1.2 Markforsøg: Forskel i N(min) tilvækst

```
> minmark<-read.table("minmark.txt", header=TRUE, sep="", dec=",")
> str(minmark)
'data.frame': 33 obs. of 2 variables:
 $ gødning: Factor w/ 11 levels "A","BG","ECO",...: 5 5 5 10 10 10 8 8 8 3 ...
 $ netto  : num -6 11.5 17.1 11.6 NA NA 32.2 37.7 20.7 0.2 ...
> lm<-lm(netto~gødning, data=minmark)
> anova(lm)
Analysis of Variance Table

Response: netto
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
gødning 10 2523.8 252.380  2.9599 0.0201 *
Residuals 19 1620.0  85.266
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> summary(lm)

Call:
lm(formula = netto ~ gødning, data = minmark)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-13.767  -5.692   1.200   5.142  11.533

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
```

```

(Intercept)    -1.937      5.331   -0.363  0.720415
gødningBG      19.503      7.539    2.587  0.018086 *
gødningECO      4.170      7.539    0.553  0.586653
gødningFR       2.487      8.429    0.295  0.771194
gødningKE       9.470      7.539    1.256  0.224323
gødningKVA     12.303      7.539    1.632  0.119175
gødningM13     16.303      7.539    2.162  0.043551 *
gødningOKO     32.137      7.539    4.262  0.000421 ***
gødningPRO     18.770      7.539    2.490  0.022224 *
gødningRP      13.537     10.662    1.270  0.219570
gødningVIN     21.037      7.539    2.790  0.011670 *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 9.234 on 19 degrees of freedom
(3 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.609,    Adjusted R-squared:  0.4033
F-statistic:  2.96 on 10 and 19 DF,  p-value: 0.0201

```

1.3 Inkubation: Forskel i N(min) tilvækst

```

> min15<-read.table("min15.txt", header=TRUE, sep=" ", dec=",")
#min15.txt medatager ikke Vinasse
> str(min15)
'data.frame':  27 obs. of  2 variables:
 $ beh  : Factor w/ 9 levels "A","BG","ECO",...: 1 1 1 9 9 9 5 5 5 6 ...
 $ netto: num  23.4 21.5 30 49 78 ...
> lm<-lm(netto~beh, data=min15)
> anova(lm)
Analysis of Variance Table

Response: netto
      Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
beh      8 12208.3  1526.03   12.124 1.783e-05 ***
Residuals 16  2013.9   125.87
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> summary(lm)

```

```

Call:
lm(formula = netto ~ beh, data = min15)

```

```

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-17.175  -6.167  -1.520   5.107  17.910

```

```

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)   24.970     6.477   3.855 0.001401 **
behBG          7.845    10.242   0.766 0.454834
behECO         4.103     9.160   0.448 0.660200
behENS        -42.407     9.160  -4.629 0.000278 ***
behFK          6.953     9.160   0.759 0.458851
behM13        32.867     9.160   3.588 0.002461 **
behPRO        -5.225    10.242  -0.510 0.616896
behRK         -0.690     9.160  -0.075 0.940890
behØKO        35.170     9.160   3.839 0.001447 **
---

```

```

Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

```

Residual standard error: 11.22 on 16 degrees of freedom
(2 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.8584,    Adjusted R-squared:  0.7876
F-statistic: 12.12 on 8 and 16 DF,  p-value: 1.783e-05

```

>

1.4 Inkubation: Forskel i Temperatur

```
> temp<-read.table("temp16.05", header=TRUE, sep="", dec=",")
> str(temp)
'data.frame': 63 obs. of 7 variables:
 $ Gød : Factor w/ 9 levels "A","BG","ECO",...: 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 ...
 $ Temp : Factor w/ 3 levels "kold","Middel",...: 1 1 1 2 2 2 1 1 1 2 ...
 $ Dag0 : num 51.6 51.6 51.6 59.6 59.6 ...
 $ Dag5 : num 73.8 64.6 59.9 69.1 55.7 ...
 $ Dag42: num 51.4 58.1 59.6 57.1 71 ...
 $ V5 : num 22.19 13.07 8.28 9.43 -3.98 ...
 $ V42 : num -0.14 6.57 8.01 -2.51 11.38 ...
```

```
> lm<-lm(V42~Gød*Temp, data=temp)
```

```
> anova(lm)
```

Analysis of Variance Table

Response: V42

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Gød	8	33118	4139.8	48.1124	< 2.2e-16	***
Temp	2	1895	947.4	11.0105	0.0001488	***
Gød:Temp	10	551	55.1	0.6404	0.7706157	
Residuals	41	3528	86.0			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

>

```
> lm1<-lm(V42~Gød+Temp, data=temp)
```

```
> anova(lm1)
```

Analysis of Variance Table

Response: V42

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Gød	8	33118	4139.8	51.762	< 2.2e-16	***
Temp	2	1895	947.4	11.846	5.952e-05	***
Residuals	51	4079	80.0			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```
> summary(lm1)
```

Call:

```
lm(formula = V42 ~ Gød + Temp, data = temp)
```

Residuals:

	Min	1Q	Median	3Q	Max
	-16.918	-4.412	1.425	4.675	21.172

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	16.754	3.447	4.860	1.16e-05	***
GødBG	38.010	5.140	7.394	1.30e-09	***
GødECO	31.699	4.868	6.512	3.21e-08	***
GødENS	-14.778	4.868	-3.036	0.003773	**
GødFR	30.261	4.216	7.178	2.85e-09	***
GødM13	57.834	4.868	11.881	2.63e-16	***
GødPRO	21.736	4.868	4.465	4.45e-05	***
GødRP	19.294	4.868	3.963	0.000231	***
GødØKO	57.401	4.216	13.616	< 2e-16	***

```
TempMiddel      8.401      2.461      3.413 0.001267 **
TempVarm        16.871      3.853      4.379 5.94e-05 ***
```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 8.943 on 51 degrees of freedom
(1 observation deleted due to missingness)

Multiple R-squared: 0.8957, Adjusted R-squared: 0.8752

F-statistic: 43.78 on 10 and 51 DF, p-value: < 2.2e-16

1.5 Inkubation: Tilvækst Biomasse (FW) + PlanteN-Optag (PN)

```
> pn<-read.table("pn.txt", header=TRUE, sep=" ", dec=".", as.is=TRUE)
> str(pn)
'data.frame': 32 obs. of 3 variables:
 $ Parcel: Factor w/ 11 levels "A","BG","ECO",...: 4 4 4 9 9 9 11 11 11 3
...
 $ pn : num 5.02 NA 2.97 5.08 3.95 3.4 5.85 4.45 4.64 NA ...
 $ fw : num 1058 619 NA 1058 871 ...
> lmpn<-lm((pn~Parcel), data=pn)
> anova(lmpn)
Analysis of Variance Table

Response: pn
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Parcel  10 19.263   1.9263   0.729 0.6886
Residuals 16 42.276   2.6422
> summary(lmpn)
```

Call:
lm(formula = (pn ~ Parcel), data = pn)

Residuals:

	Min	1Q	Median	3Q	Max
	-2.2000	-0.8483	-0.3400	0.9033	2.7533

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	4.09000	1.14940	3.558	0.00262 **
ParcelBG	2.35667	1.48387	1.588	0.13181
ParcelECO	1.38000	1.62550	0.849	0.40842
ParcelENS	-0.09500	1.62550	-0.058	0.95412
ParcelFK	0.46000	1.99082	0.231	0.82020
ParcelKVÆ	0.96667	1.48387	0.651	0.52400
ParcelM13	2.08333	1.48387	1.404	0.17943
ParcelPRO	1.18333	1.48387	0.797	0.43686
ParcelRK	0.05333	1.48387	0.036	0.97177
ParcelVIN	-0.12000	1.62550	-0.074	0.94207
ParcelØKO	0.89000	1.48387	0.600	0.55705

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1.625 on 16 degrees of freedom
(5 observations deleted due to missingness)

Multiple R-squared: 0.313, Adjusted R-squared: -0.1163

F-statistic: 0.729 on 10 and 16 DF, p-value: 0.6886

```
> lmfw<-lm((fw~Parcel), data=pn)
> anova(lmfw)
Analysis of Variance Table
```

Response: fw

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Parcel	10	678309	67831	0.788	0.6411
Residuals	16	1377320	86083		

```
> summary(lmfw)
```

```
Call:
```

```
lm(formula = (fw ~ Parcel), data = pN)
```

```
Residuals:
```

```
    Min       1Q   Median       3Q      Max  
-425.8 -181.7   -8.6   131.2  430.1
```

```
Coefficients:
```

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	916.13	207.46	4.416	0.000433	***
ParcelBG	356.99	267.83	1.333	0.201247	
ParcelECO	232.26	293.40	0.792	0.440170	
ParcelENS	-77.42	293.40	-0.264	0.795233	
ParcelFK	167.74	359.34	0.467	0.646934	
ParcelKVÆ	262.36	267.83	0.980	0.341878	
ParcelM13	305.37	267.83	1.140	0.271002	
ParcelPRO	253.76	267.83	0.947	0.357494	
ParcelRK	-47.31	267.83	-0.177	0.861999	
ParcelVIN	-103.23	293.40	-0.352	0.729547	
ParcelØKO	150.53	267.83	0.562	0.581879	

```
---
```

```
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
Residual standard error: 293.4 on 16 degrees of freedom
```

```
(5 observations deleted due to missingness)
```

```
Multiple R-squared:  0.33,    Adjusted R-squared:  -0.08879
```

```
F-statistic: 0.788 on 10 and 16 DF,  p-value: 0.6411
```

```
>
```

Gødningsbetegnelser:

A: Kontrol

BG: Bio Grow

ECO: ECO Høns

ENS: Kløvergræsensilage

FK: Frisk rødkløver

KVÆ: Kvæggylle

M13: Monterra 13

PRO: Protamylasse

RK: Rødkløverpiller

VIN: Vinasse

ØKO: Økogødning