

Nitrogeneffekt av organisk avfall til korn - et forsøk i laboratoriet

Trond Maukon Henriksen¹, Annbjørg Øverli Kristoffersen¹, Eva Brod² & Anne Falk Øgaard³

¹NIBIO Korn og frøvekster, ²NIBIO Grøntanlegg og miljøteknologi, ³NIBIO Jordressurser og arealbruk
trond.henriksen@nibio.no

Innledning

Om organisk avfall skal kunne erstatte handelsgjødning, må vi vite temmelig nøyaktig hvor mye næring det kan bidra med, slik at vi kan supplere med tilstrekkelig mengde næringsstoff fra andre kilder. I NIBIO's strategiske instituttprogram «Bærekraftig resirkulering av organiske avfallsressurser i fremtidens bioøkonomi» jobber vi med å beskrive nitrogeneffekten av et utvalg organiske avfallstyper. Målet er å kunne forutsi denne virkningen basert på enkle kjemiske eller fysiske laboratoriemetoder. I første omgang måler vi hvor mye nitrogen som frigjøres fra avfallet når det blandes inn i fuktig jord (inkubasjonsforsøk), og vi ser på hvordan det påvirker vekst av korn i veksthus og i felt. I denne artikkelen tar vi for oss resultater fra inkubasjonsforsøket.

Organisk avfall er svært variert. Noe er tørt, noe vått. Noe er ferskt og noe har gått gjennom en komposteringsprosess. Når det gjelder nitrogenet, kan vi for enkelthets skyld tenke oss at vi har tre ulike fraksjoner. Det er en ammonium-fraksjon som er direkte plantetilgjengelig. Videre er det noe nitrogen, for eksempel i proteiner, som angripes av sopp og bakterier og raskt blir frigjort som ammonium. Vi kan si at denne fraksjonen er raskt tilgjengelig. Det er også en langsomt tilgjengelig nitrogenfraksjon. Dette kan være nitrogen som er bundet i nokså stabile forbindelser, mikrobielle produkt, eller som stadig bindes pånytt ved nedbryting av karbonforbindelser.

Innholdet av total-nitrogen og ammonium i organisk avfall kan i dag måles ved ordinær kjemisk analyse, men vi har foreløpig ingen analysemetode for å sette grensa mellom raskt- og langsomt tilgjengelig organisk nitrogen. Vi har isteden gjennomført et inkubasjonsforsøk hvor vi har sett på frigjøringen av organisk bundet nitrogen og laget en enkel matematisk modell, som vi har tilpasset frigjøringsmønsteret. Modellen kan brukes for å fordele nitrogenet mellom raskt og langsomt tilgjengelig organisk nitrogen.

Tidsrommet for opptak av nitrogen i korn er kort, og foregår hovedsaklig under strekningsveksten gjennom snaut tre ukers tid i slutten av juni. Om en tilfører organisk gjødning om våren, bør nitrogenet være tilgjengelig i løpet av seks uker etter såing. Frigjøring av organisk bundet nitrogen er en mikrobiell prosess og styres derfor av temperaturen. Vi har inkludert en enkel temperaturrespons-funksjon i modellen for å kunne vurdere om den raske nitrogenfraksjonen er plantetilgjengelig innen kornet starter strekningsveksten under feltforhold.

Hensikten med dette arbeidet var å vise: 1) at mønsteret for nitrogenfrigjøring kan beskrives med en matematisk modell, 2) at jordtemperaturens effekt på frigjøringen kan beskrives med en enkel respons-funksjon og 3) undersøke om det raskt tilgjengelige nitrogenet i et organisk avfallsprodukt kan være i uorganisk form innen opptaket i korn aksellererer midt i juni.

Materialer og metoder

Høsten 2017 samlet vi inn åtte organiske avfallstyper. Innhold av total-nitrogen og ammonium-nitrogen er vist i tabell 1. For hver av avfallstypene ble porsjoner tilsvarende 20 mg total-nitrogen blandet med 150 g tørrstoff av ei lettleire fra Apelsvoll og pakket lett i små pottar. Det ble også laget til pottar med den samme jorda, men uten tilsatt organisk avfall (=kontrolledd). Jorda ble deretter fuktet opp til 70 % av feltekapasitet og pottene satt til inkubering ved 15°C. For kontrolljorda, bioresten og avløpslam A ble det i tillegg inkubert pottar ved både 5° og 25°C. Ved dag 0, 5, 10, 20, 40 og 80 ble det tatt ut tre prøver for hvert forsøksledd, som ble ekstrahert med 1M KCl, og innhold av ammonium og nitrat ble målt.

Tabell 1. Tørrstoff, pH og innhold av total-nitrogen og ammonium-nitrogen i åtte ulike organiske avfallstyper

Organisk materiale	Tørrstoff %	pH	Total N (kg/tonn)	Ammonium-N (%)
Flytende fiskeslam fra settefiskanlegg*	0,3	7,6	1,08	92
Grisemøkk*	1,1	7,3	1,21	90
Biorest fra matavfall og husdyrgjødsel	3,9	7,7	3,75	72
Tørket fiskeslam fra settefiskanlegg	96,2	5,1	67,72	3
Utråtnet, avvannet avløpslam A	34,9	8,1	13,05	28
Pelletert hestegjødselprodukt med kjøttbeinmjøl	91,6	7,1	25,65	3
Utråtnet, avvannet og kalket avløpslam B	45,5	9,6	10,10	6
Pelletert produkt av hønsegjødsel og kjøttbeinmjøl	91,6	5,6	65,59	4

* Usikkerhet knyttet til måling av nitrogen i flytende gjødsel

Temperaturdata for jord i 10 cm dyp de seks ukene fra 5. mai til 15. juni 2017 og 2018 ble hentet fra Apelsvolls meteorologiske målestasjon.

Nitrogenfrigjøringsmodellen ble designet med to fraksjoner organisk bundet nitrogen i tillegg til det uorganiske. Frigjøringen av nitrogen ble antatt å følge første ordens kinetikk, og konstantene for frigjøringshastighet ble satt til $k_1 = 0,15 \text{ d}^{-1}$ for det raskt tilgjengelige nitrogenet, slik Henriksen og Breland (1999a) gjorde for tilsvarende fraksjon i plantematerialer. Ratekonstanten for det langsomt tilgjengelige nitrogenet ble justert til $0,0008 \text{ d}^{-1}$ etter at fraksjonsgrenser var satt. For å ta hensyn til temperatur, ble ratekonstantene korrigert med en enkel Q_{10} responsfunksjon, hvor $Q_{10} = 2$ og $T_0 = 15^\circ \text{C}$ (Henriksen og Breland, 1999b).

Modellen ble først kjørt på hver enkelt avfallstype for å bestemme grensen mellom de to organiske nitrogen-fraksjonene. Fraksjoneringen ble gjort ved å minimere forskjellen mellom modell-output og målte data ved alle uttakstidspunkt. Deretter ble ratekonstanten for det langsomt tilgjengelige nitrogenet justert ved å minimere forskjell mellom modelloutput og målt frigjøring i perioden 40 til 80 dager.

For to flytende avfallstyper (flytende fiskeslam og grisemøkk) fant vi avvik mellom målt innhold av nitrogen hos Eurofins og egne data. For disse anslo vi at det var tilført 30 mg total-nitrogen. Dette vil bli undersøkt nærmere.

For å vurdere temperaturresponsfunksjonen, brukte vi først data for kontrolljord. Vi antok at jorda inneholdt like mye organisk materiale som jorda på nabo-

jordet (3,5 %), at karboninnholdet i dette var 58 %, at karbon:nitrogen forholdet var 10, og at alt nitrogen var plassert i en svært langsomt omsettelige fraksjon. Ratekonstanten for denne fraksjonen ($k_{jord} = 0,00016$) ble funnet ved tilpassing til data for frigjøring ved 15°C . Så testet vi responsfunksjonen ved å simulere nitrogenfrigjøring ved 5 og 25 grader for kontrolljord og to organiske avfallstyper.

I et siste steg brukte vi modellen til å vurdere hvorvidt nitrogen i den raskt tilgjengelige fraksjonen i et kommersielt gjødselprodukt basert på hønsemøkk og kjøttbeinmjøl kunne være plantetilgjengelig i løpet av 6 uker under relativt normale forhold på Østlandet. Inputdata var jordtemperatur i 10 cm dyp på Apelsvoll 5. mai - 15. juni i 2017 og 2018.

Resultater og diskusjon

Resultatene våre viste at mønster for nitrogenfrigjøring fra organisk avfall kan beskrives godt med en enkel matematisk modell om det organiske nitrogenet fordeles i to fraksjoner. I tillegg kommer produktets innhold av ammonium når gjødslingseffekten skal vurderes. Den raskt tilgjengelige nitrogenfraksjonen tømmes fort ved 15°C , men også ved lavere jordtemperatur (5°C). Forskjellen i frigjøringshastighet beskrives godt med temperaturresponsfunksjonen. Ved normal jordtemperatur er det raskt tilgjengelige nitrogenet frigjort innen kornplantene strekker seg, dersom fuktighetsforholdene ikke er begrensende.

Frigjøringsmønsteret og fordeling av nitrogen mellom fraksjoner

Data for frigjøring av nitrogen ved 15 °C og modellens output er vist i figur 1a og b. Fordeling av nitrogen i fraksjoner er vist i tabell 2. Det er noe usikkerhet knyttet til analysedata for to av de flytende avfallstypene. De vil bli sendt inn til ny analyse, men konklusjonen er uansett at nitrogeneffekten er umiddelbar, fordi den er knyttet til produktenes innhold av fritt ammonium i utgangspunktet. Bare en liten del av det organiske nitrogenet blir raskt tilgjengelig.

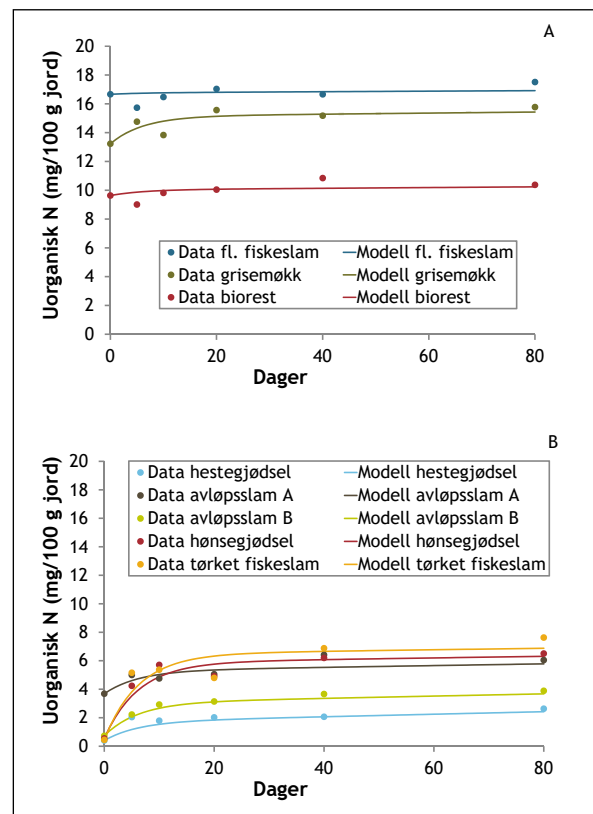
For de faste materialene var innholdet av ammonium lavt i utgangspunktet (unntatt avløpslam A, som var noe høyere), men vi fant at frigjøring fra den raskt tilgjengelige organiske nitrogenfraksjonen gikk meget fort (figur 1b). Ved 15 °C og nær optimale fuktighetsforhold var denne nitrogenfraksjonen så godt som tømt etter tre uker (som vist for pelletert hønsegjødsel/kjøttbeinmjøl i figur 2). Det er ammoniumet og den raskt tilgjengelige fraksjonen som i all hovedsak utgjør nitrogeneffekten når organisk avfall brukes i kornproduksjonen.

Oppsummert så hadde de flytende avfallstypene vi testet en umiddelbar nitrogeneffekt. For de faste avfallstypene ble nitrogeneffekten realisert i løpet av tre uker ved 15 °C. Den enkle frigjøringsmodellen gav svært god tilpasning til målte data, og kunne benyttes for å fordele nitrogen i to organiske fraksjoner. Videre i prosjektet vil vi undersøke om vi kan finne kjemiske eller fysiske analysemetoder som direkte kan gi størrelsen på den raskt tilgjengelige fraksjonen uten å måtte gjøre laboratorieinkubasjoner.

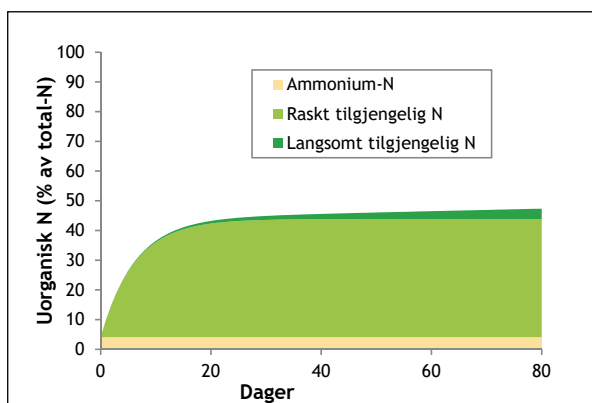
Tabell 2. Fordeling av total-nitrogen i fraksjoner, funnet ved måling (ammonium) og tilpassing av modell til data (raskt- og langsomt tilgjengelig organisk nitrogen) for åtte ulike materialer

Organisk materiale	NH ₄ -N (%)	Raskt tilgj. org. N* (%)	Langsomt tilgj. org. N* (%)
Flytende fiskeslam fra settefiskanlegg**	83	1	16
Grisemøkk**	66	10	24
Biorest fra matavfall og husdyrgjødsel	72	3	25
Tørket fiskeslam fra settefiskanlegg	3	45	52
Avløpslam A	28	12	60
Pelletert hestegjødselprodukt	3	10	87
Kalket avløpslam B	6	17	77
Pelletert hønsegjødselprodukt	4	40	56

*Beregnet ved bruk av modell; **det er usikkerhet knyttet til måling av nitrogen i flytende gjødsel



Figur 1. Målt (punkt) og simulert (linje) frigjøring av nitrogen fra tre flytende (A) og fem faste (B) organiske materialer ved 15 °C.

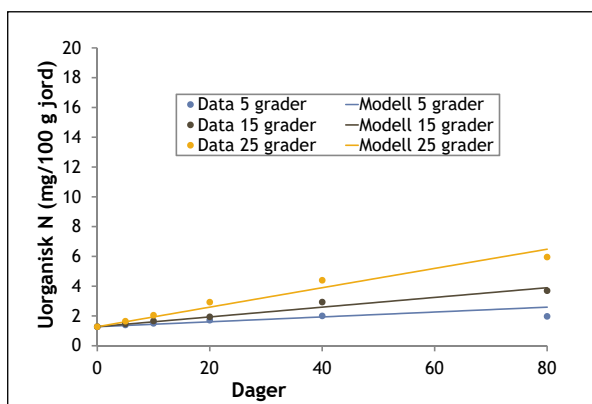


Figur 2. Simulert frigjøring av nitrogen (i % av total-N) fra tre fraksjoner i pelletert høsegjødsel med kjøttbeinmjøl.

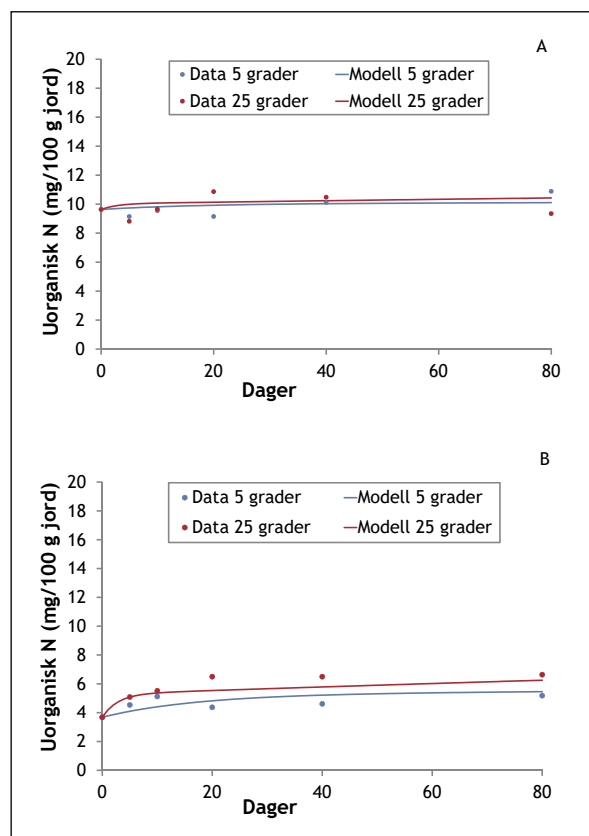
Betydning av temperatur

En responsfunksjon basert på dobling av reaksjonshastighet ved ti graders temperaturøkning gav en god beskrivelse av temperaturens betydning for frigjøring av nitrogen fra kontrolljord i temperaturområdet 5 til 25 grader (figur 3).

For å vurdere temperaturens betydning for nitrogenfrigjøring fra organisk avfall, inkuberte vi flytende biorest og kompostert avløpslam A ved 5 og 25 °C (i tillegg til ved 15 °C, vist i figur 1). Nitrogenet i bioresten var temmelig stabilt. Enten var det i ammonium-form (72 %) eller så var det i den langsomt tilgjengelige fraksjonen (25 %; tabell 2). Bare 3 % av det organiske nitrogenet var raskt tilgjengelig. Temperaturen hadde derfor en nesten neglisjerbar virkning på frigjøringsmønsteret (figur 4a). For avløps-



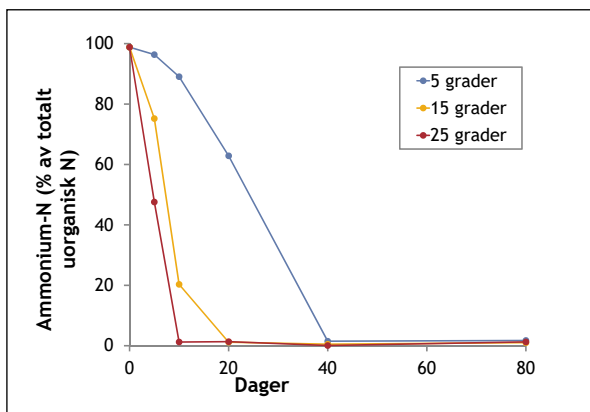
Figur 3. Målt (punkt) og simulert (linje) frigjøring av nitrogen fra kontrolljord ved 5, 15 og 25 °C. Det er brukt en enkelt nitrogenfraksjon med en ratekonstant $k_{jord} = 0,00016 \text{ d}^{-1}$ og en Q_{10} temperaturreponsfunksjon med grunntall 2 og $T_0 = 15^\circ \text{C}$.



Figur 4. Målt (punkt) og simulert (linjer) frigjøring av nitrogen fra flytende biorest (A) og avløpslam A (B) ved 5 og 25 °C.

slam A var det noe annerledes. Dette avløpsslammet hadde en raskt tilgjengelig nitrogenfraksjon (12 %; tabell 2) og en betydelig fraksjon med langsomt tilgjengelig nitrogen (60 %). Ved bruk av temperaturreponsfunksjonen klarte vi på en rimelig måte å forutsi frigjøringsmønsteret, men det var mye sprik i datamaterialet og vanskelig å gi en god evaluering av responsfunksjonen (figur 4b). Det er imidlertid ingen spesiell grunn til å tro at responsfunksjonen skal passe dårligere for organisk avfall enn for kontrolljorda.

Overgangen fra ammonium til nitrat er en mikrobiell prosess og derfor påvirket av temperaturen. Nitrifikasjonen har optimum ved 30-35 °C og skjer langsomt under 5 °C. Dette ser en også i figur 5, som viser hvor stor andel av det uorganiske nitrogenet i jord med biorest som fremdeles fantes som ammonium ved tre temperaturer. Nitrifikasjonen gikk svært fort ved 25 °C og selv ved 15 °C var alt ammoniumet borte etter mellom to og tre uker. Derimot gikk det betydelig langsommere ved 5 °C. Dette har betydning for vår vurdering av risiko for tap av nitrogen.



Figur 5. Innhold av ammonium (i % av totalt uorganisk nitrogen) i jord tilført biorest ved 5, 15 og 25 °C.

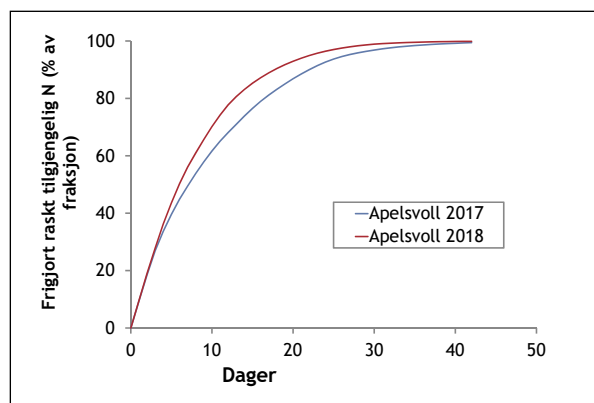
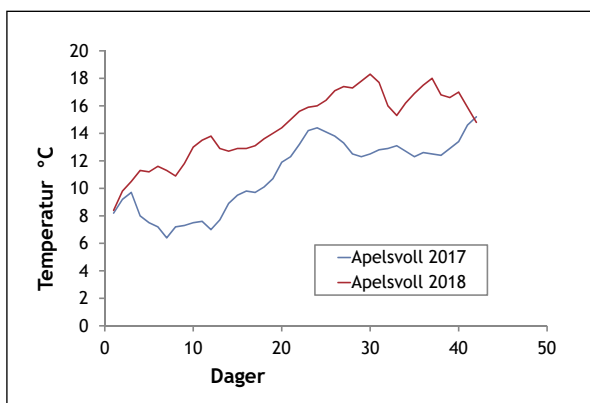
Flytende produkt med høyt innhold av ammonium må behandles som husdyrgjødsel, og en må begrense ammoniakktapene knyttet til spredningen (ikke spre i sol og vind, rask nedmolding, evt fortynning). Om slik gjødsel tilføres ved såing, vil risiko for utvaskingstap av nitrogen som nitrat være knyttet til ekstremnedbørsepisoder i månedsskiftet mai-juni når ammoniumet har blitt til nitrat. Ved bruk av fast organisk avfall om våren, hvor ammonium først skal frigjøres fra det organiske materialet og så nitrifiseres, er det liten risiko for ammoniakktap. Risiko for tap av nitrat vil trolig også være minimal på forsommeren, fordi nitrifikasjonsprosessen tar noe tid og fordi plantene etter hvert vil konkurrere godt med mikroorganismer om frigjort nitrogen. I dette arbeidet har vi ikke sett på tap av nitrat utenfor vekstsesongen.

Vi oppsummerer med at i vekstsesongen har jordtemperaturen først og fremst betydning for virk-

ningen av fast organisk avfall, hvor det meste av nitrogenet er i organisk form, som krever mikrobiell nedbryting. Overgangen fra ammonium til nitrat skjer mye seinere ved lav- enn ved høy temperatur. Tap av nitrogen fra organisk avfall er først og fremst knyttet til flytende typer, med høyt innhold av ammonium, som kan tapes som ammoniakk ved spredning. For disse er det også en risiko for nitrattap gjennom utvaskingsperioder i månedsskiftet mai-juni. For fast organisk avfall vil risikoen for tap på forsommeren være mindre.

Nitrogeneffekt under feltforhold - en simulering

I Norge er temperaturen i jorda relativt lav om våren. Ved såing er den gjerne på 7-8 grader, og så stiger den i gjennomsnitt med ca. 0,1-0,2 grader per dag de neste ukene. I figur 6 (a) er temperaturen i 10 cm jorddyb vist for Apelsvoll i 2017 og 2018, fra 5. mai, som er omtrentlig sådato, til kornet strekker seg og virkelig tar opp næring i midten av juni, seks uker seinere. Da er jordtemperaturen gjerne 14-15 grader. Det er altså i dette temperaturintervallet frigjøringen av nitrogen foregår på forsommeren her hos oss. Vi har valgt et pelletert produkt av hønsegjødsel og kjøttbeinmjøl for å gi et eksempel på hvor fort nitrogenet frigjøres. Dette materialet inneholder lite fritt ammonium (4 %; tabell 1), men mye raskt tilgjengelig organisk nitrogen (40 % av total-nitrogenet) som frigjøres ved mikrobiell aktivitet. Spørsmålet er om frigjøringen av organisk bundet nitrogen går fort nok til å møte kornets behov under norske temperaturforhold. For å svare på dette, har vi brukt modellen vår og vi har tatt hensyn til temperaturen ved å justere konstantene for frigjøringshastighet med temperatur-



Figur 6. Målt jordtemperatur (10 cm dyp) på Apelsvoll fra 5. mai til 15. juni i 2017 og 2018 (A) samt simulering av frigjøringsmønster for nitrogen fra fraksjonen med raskt tilgjengelig nitrogen i pelletert hønsegjødsel (B).

respons-funksjonen. Simuleringene viste at nitrogen som er bundet i raskt nedbrytbare organiske forbindelser frigjøres i løpet av 5-6 uker under våre forhold (figur 6b), og vil derfor sammen med ammoniumet, være tilgjengelig for veksten av korn dersom fuktighetsforholdene er tilfredsstillende.

Konklusjoner

Nitrogenbidrag fra organisk avfall kan beskrives med en enkel matematisk modell hvor nitrogenet fordeles i tre fraksjoner; ammonium-nitrogen i utgangspunktet, raskt tilgjengelig organisk nitrogen og langsomt tilgjengelig organisk nitrogen. Omvendt, så kan modellen brukes for å bestemme fraksjonsgrensen mellom lett- og langsomt tilgjengelig nitrogen når man kjenner frigjøringsmønsteret. En temperaturresponsfunksjon med dobling av reaksjonshastighet ved ti graders temperaturøkning passet godt for temperaturintervallet 5-25 grader. De flytende avfallstypene i denne undersøkelsen hadde allerede i utgangspunktet et høyt innhold av ammonium, og lite ekstra nitrogen ble frigjort med tiden, uansett jordtemperatur. Det kortsiktige nitrogenbidraget fra de faste avfallstypene var hovedsakelig knyttet til innholdet i den raskt tilgjengelige, organiske nitrogenfraksjonen. Under laboratorieforhold ved 15 grader ble dette realisert i løpet av tre uker og modellkjøring med temperaturdata fra Apelsvoll viste at dette nitrogenet kan frigjøres i løpet av 5 uker under feltforhold. Nitrogeneffekten av organisk avfall til korn er derfor knyttet til innholdet av ammonium pluss nitrogen i den raskt tilgjengelige fraksjonen.

Referanser

Henriksen, T.M. og Breland, T.A. (1999a). Nitrogen availability effects on carbon mineralization, fungal and bacterial growth, and enzyme activities during decomposition of wheat straw in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 31: 1135-1149.

Henriksen, T.M. og Breland, T.A. (1999b). Decomposition of crop residues in the field: evaluation of a simulation model developed from microcosm studies. *Soil Biology and Biochemistry*, 31: 1423-1434.