

Fiskeslam som nitrogengjødsel til korn

Eva Brod¹ & Trond Maukon Henriksen²

¹NIBIO Bioressurser og kretsløpsteknologi, ²NIBIO Korn og frøvekster
eva.brod@nibio.no

Innledning

Fiskeslam er et svært næringsrikt avfallsprodukt fra oppdrettsnæringen, som består av fiskens ekskrementer og fôrrester. Forurensningsloven pålegger landbaserte oppdrettere å samle opp fiskeslam før avløpsvannet slippes ut i sjøen, for å unngå overbelastning av kystområder med lav bæreevne. Fram til nå har behandlingsteknologier for fiskeslam blitt utviklet med et mål om å holde rense- og transportkostnadene nede og å redusere luktproblemer fra avfallet. Produksjonen av høy-kvalitets gjødselprodukter har ikke vært i fokus. Det er likevel nærliggende å bruke fiskeslam som gjødsel, slik at nitrogen og fosfor føres tilbake til kretsløpet. Noe tørket fiskeslam fra ferskvannsbaserte settefiskanlegg inngår allerede i kommersiell gjødselproduksjon (f.eks. Grønn Gjødsel og Terra Marine). For gjødselprodusenter og brukere av gjødsla er det essensielt med god kunnskap om gjødsleffekten, hvis fiskeslam skal gå fra å være avfall til ressurs.

Avvanning og behandling av fiskeslam foregår i flere steg: Først blir vannet rensert med trommelfilter, fulgt av avvanning med båndfilter eller gjennom sedimentering. I noen tilfeller brukes kjemiske polymerer som hjelpemiddel for å samle og binde fiskeslammet i større partikler, før videre avvanning med sentrifuge eller skruepresse til rundt 30 % tørrstoff (TS). I de fleste tilfeller blir fiskeslammet deretter tørket termisk til rundt 90 % TS, og lagret i storsekker. Alternativt kan fiskeslam behandles i biogassanlegg, med både biogass og biorest som sluttprodukter.

I prosjektet «FishBash» (2019–2022) undersøker vi gjødselkvaliteten til en rekke forskjellige fiskeslamprodukter fra ferskvannsbaserte settefiskanlegg. Vi har gjennomført to feltforsøk med korn i Østfold over to år (2019–2020) med fire produkter som var tørket med ulik teknologi, en flytende biorest etter anaerob utråtning og en tørket biorest.

Feltforsøk gir det faktiske svaret på gjødsleffekten av slikt fiskeslam, men de er kostbare og tar lang tid. Årlig variasjon i de rådende forhold (jordarbeiding, gjødslingstidspunkt, planteslag og vær) gjør dessuten at slike feltforsøk bør gjennomføres over flere sesonger for å få tilstrekkelig data til en verdivurdering. Som et alternativ til feltforsøk foreslår vi (Henriksen *et al.*, 2019) at inkuberingsforsøk i laboratoriet kombinert med en enkel matematisk modell kan være en raskere og rimeligere metode for å bestemme den potensielle nitrogeneffekten til organisk avfall, slik den vil fremstå under optimale forhold, uten tap, i felt.

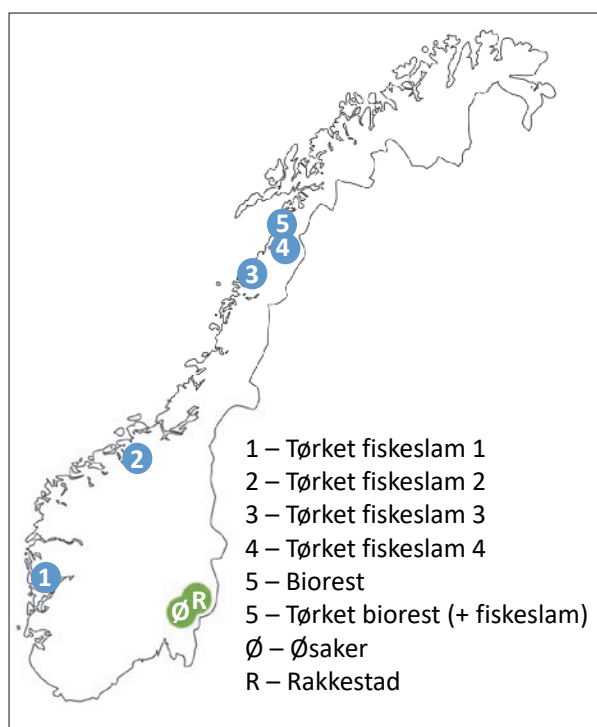
Som for andre organiske gjødselprodukter kan vi fordele nitrogenet i fiskeslam i tre fraksjoner: Ammonium-N ($\text{NH}_4\text{-N}$), som er direkte tilgjengelig for plantene, men også risikeres tapt som ammoniakk. Videre er det noe organisk N som raskt frigjøres i jord, f.eks. proteiner. Den tredje fraksjonen er tungt tilgjengelig organisk nitrogen som er bundet i nokså stabile organiske forbindelser. Innholdet av totalnitrogen og andelen $\text{NH}_4\text{-N}$ kan måles med kjemisk analyse. Metoden som er beskrevet i Henriksen *et al.* (2019) kan brukes til å skille mellom raskt- og langsomt tilgjengelig organisk nitrogen i ulike organiske avfallsmaterialer.

Formålet med forsøkene som vi viser resultater fra her, har vært å klarlegge: 1) hvordan fiskeslamprodukter, som har gjennomgått ulik behandlingsteknologi, fungerer som nitrogengjødsel til korn, og 2) om laboratorieundersøkelser beskrevet i Henriksen *et al.* (2019) også kan brukes for å beskrive nitrogenkvaliteten i fiskeslam.

Materialer og metoder

Fiskeslam-produkter

Våren 2019 og 2020 samlet vi inn syv fiskeslamprodukter fra fem landbaserte settefiskanlegg (bilde 1).



Bilde 1. Lokasjoner til settefiskanleggene og feltforsøkene.

Opprinnelsen og behandlingen av fiskeslam-produktene er beskrevet i tabell 1.

Tabell 1. Beskrivelse av fiskeslam-produktene

Fiskeslam-produkt	Beskrivelse
Tørket fiskeslam 1	Fra Sævareid Fiskeanlegg (gjennomstrømningsanlegg og resirkuleringsanlegg, RAS), tørket ved 105 °C. Behandlingsteknologi er levert av Bioretur.
Tørket fiskeslam 2	Fra settefiskanlegg MOWI/Steinsvik (RAS), tørket ved 70 °C etter polymertilsetting. Behandlingsteknologi er levert av VOW (tidligere Scanship). I 2020 ble det tatt prøver av fiskeslammet ved to tidspunkt. Fiskeslam 2-2 (fra «MAFIGOLD» prosjektet, 2019–2022) ble analysert for kjemisk sammensetning, inkludert i inkuberingsforsøket og gjødseffekten ble testet i et feltforsøk i Rogaland i 2020.
Tørket fiskeslam 3	Fra Helgeland Smolt (RAS), tørket ved 110–130 °C etter polymertilsetting. Behandlingsteknologi er levert av Waister.
Tørket fiskeslam 4	Fra Sisomar (gjennomstrømningsanlegg), tørket ved 50 °C etter polymertilsetting. Behandlingsteknologi er levert av Sterner.
Biorest av fiskeslam	Fra Cermaq (RAS). Gravimetrisk fortykning og biologisk hydrolyse før biogassproduksjon i ABR (anaerobic baffle reactor). Bioresten ble brukt i forsøk. Behandlingsteknologi er levert av Sterner.
Tørket biorest (+ fiskeslam)	Bioresten fra Cermaq ble tilsatt polymer i flokkuleringstank før avvanning med skruepresse og tørking ved 50 °C. I 2020 ble biorest blandet med avvannet fiskeslam før tørking. Behandlingsteknologi er levert av Sterner.

Tabell 2. Beskrivelse av jorda på Øsaker og Rakkestad (gjennomsnitt av jordprøver tatt fra 9 ruter våren 2019)

Lokasjon	Org. materiale ¹ %	pH	P-AL mg/100 g	K-AL mg/100 g	Mg-AL mg/100 g	Ca-AL mg/100 g
Øsaker	4,0	5,7	6,9 (6–7)	28	13	121
Rakkestad	5,6	6,1	12 (11–14)	28	13	161

¹ Glødetap korrigert for leirinnhold etter Riley (1996)

Feltforsøk

Nitrogeneffekten til fiskeslam-produktene ble undersøkt gjennom to toårige ruteforsøk (rutestørrelse 3 x 8 m) i Østfold (ett på Øsaker og ett i Rakkestad). Begge feltene ble anlagt på siltig lettleire (tabell 2), og det praktiske arbeidet ble gjort av NLR Øst. Felt og behandlinger var plassert på nøyaktig samme sted begge år. I 2020 fikk en derfor både med årets nitrogen-virkning og ettervirkning av gjødseiltførsel i 2019.

Fiskeslam-produktene ble dosert i en mengde som tilsvarer 12 kg total-N/daa, både i 2019 og 2020. Nitrogeneffekten til fiskeslam-produktene ble sammenlignet med ingen nitrogengjødsling (Null-ledd) og med mineralgjødning (Fullgjødning[®] 22-3-10) i to mengder, tilsvarende 6 og 12 kg N/daa (1/2 Min N og Min N). Alle gjødningproduktene ble spredd for hånd. Gjødningplanen er vist i tabell 3.

I 2019 ble det dyrket vårhvete på Øsaker og bygg i Rakkestad, og i 2020 vårhvete på Øsaker og havre i Rakkestad. Kornavlingene er korrigert for vanninnhold (15 % vann). Relativ gjødningeffekt (%) av fiskeslam-produktene sammenlignet med mineralgjødning ble beregnet som beskrevet i Brod *et al.* (2017).

Tabell 3. Gjødslingsplan på Øsaker og Rakkestad i 2019 og 2020. Min N=mineral N. Alle parameter angitt som kg/daa

Behandling	År	Gjødsel	Total-N	NH ₄ -N	Total P
Null-ledd		0	0	0	0
1/2 Min. N		28	6	6	0,7
Min. N		56	12	12	1,4
Tørket fiskeslam 1	2019	236	12	0,1	4,3
	2020	261	12	0	9,6
Tørket fiskeslam 2	2019	210	12	0,4	5,8
	2020	180	12	0,8	5,5
Tørket fiskeslam 3	2019	238	13,1 ¹	0,1	3,4
	2020	228	12	0	5,4
Tørket fiskeslam 4	2019	369	12	0,4	5,8
	2020	490	12	0	16,0
Biorest ²	2019	3510	13,3	8,4	1,1
	2020	7973	13,6	10,3	2,4
Tørket biorest (+ fiskeslam)	2019	220	12	0,9	7,9
	2020	269	12	0,8	6,0

¹ Tørket fiskeslam 3 ble overdosert i 2019 med ca. 9 % total-nitrogen pga. feil ved beregning

² Mengde biorest ble korrigert for ammoniakktap under spredning, tilsvarende som for gylle med nedmoldning innen tre timer (85 % virkningsgrad av NH₄-N, NIBIO's Gjødslingshåndbok)

Inkuberingsforsøk og modell

Vi gjennomførte et inkuberingsforsøk for å klarlegge frigjøringsmønsteret for nitrogen i fiskeslam-produktene i 2020. I inkuberingsforsøket brukte vi lett-leire fra Apelsvoll, den samme jorda som ble brukt i forsøket beskrevet i Henriksen *et al.* (2019). Jorda ble tilsatt fiskeslam-produkt i mengde tilsvarende 32 kg N/daa (jf. Henriksen *et al.* 2019), før batcher med 20 g tørrstoff gjødslet jord ble veid inn i glass (100 ml). Det ble også lagt til null-ledd med den samme jorden, men uten tilsatt fiskeslam. Jorda ble fuktet opp til 60 % av total vannmetning, og satt til inkubering ved 15 °C. Ved dag 0, 2, 5, 10, 20, 40 og 80 ble glassene tilsatt 80 ml 2 M KCl for ekstraksjon i én time. Ekstraktene ble analysert for innhold av ammonium og nitrat. Det var tre gjentak for hver gjødselbehandling og hvert tidspunkt.

Andelen raskt og langsomt tilgjengelig organisk N i fiskeslam-produktene ble beregnet ved å tilpasse nitrogenfrigjøringsmodellen som er beskrevet i Henriksen *et al.* (2019) til resultatene fra inkuberingsforsøket. Modellen er basert på antagelsen om at materialets organisk bundne nitrogen kan fordeles i to fraksjoner, og at frigjøringen følger første ordens kinetikk, med ratekonstanter $k_1 = 0,15/\text{dag}$ for det raskt tilgjengelige og $k_2 = 0,0008/\text{dag}$ for det langsomt tilgjengelige organiske nitrogenet.

Resultater og diskusjon

Næringsinnhold i fiskeslam-produktene

Nitrogeninnholdet i de tørkede fiskeslam-produktene varierte mellom 24 og 67 kg N/tonn (tabell 4).

Resultatene viser at det kan være stor forskjell i nitrogeninnholdet også til fiskeslam som er fra samme anlegg og behandlet ved samme teknologi, f.eks. Tørket fiskeslam 2 (57 og 67 kg N/tonn) og Tørket fiskeslam 2-2 (37 kg N/tonn). Nitrogeninnholdet i bioresten var 3,8 kg N/tonn i 2019 og 1,6 kg N/tonn i 2020.

Andelen NH₄-N av total-nitrogen var gjennomgående lav for de tørkede fiskeslam-produktene; mellom 0 og 8 %. I bioresten var andelen NH₄-N av total-nitrogen mellom 63 og 76 % mens Tørket biorest (+ fiskeslam) inneholdt mellom 7 og 8 % av total-nitrogen som NH₄-N.

N/P forholdet var gjennomgående lavt (mellom 0,8 og 3,8) for alle fiskeslam-produktene med unntak av Biorest. Under avvanningen tapes opp til 70 % av total-nitrogenet fordi NH₄-N følger avløpsvannet, og under den videre tørkeprosessen går mesteparten av NH₄-N tapt som ammoniakk til luft (resultater ikke vist). Kalium vil følge vannfasen akkurat som NH₄-N. Fosfor er i større grad bundet til det organiske mate-

Tabell 4. Næringsinnhold i fiskeslam-produktene

Produkt	År	Tørrstoff %	Total-N kg/tonn	NH ₄ -N % av total-N	C/N ¹	N/P	pH
Tørket fiskeslam 1	2019	91	51	0,6	6,9	2,8	6,0
	2020	92	46	0	7,3	1,3	6,3
Tørket fiskeslam 2	2019	98	57	3,3	6,1	2,1	5,4
	2020	96	67	6,4	5,4	2,2	5,2
Tørket fiskeslam 2-2	2020	89	37	8,3	8,7	1,5	5,2
Tørket fiskeslam 3	2019	96	55	0,5	7,2	3,8	6,0
	2020	91	53	0,4	7,4	2,2	5,5
Tørket fiskeslam 4 ¹	2019	92	32	3,0	10,9	2,1	-
	2020	91	24	0	14,2	0,8	6,4
Biorest	2019	1,8	3,8	63	-	13	8,4
	2020	0,5	1,7	76	0,7	19	7,8
Tørket biorest (+ fiskeslam)	2019	94	55	7,9	5,1	1,5	7,5
	2020	74	45	7,0	5,1	2,0	7,0

¹ Karboninnhold er beregnet basert på glødetap delt på faktor 2,1 (gjennomsnitt av fire fiskeslam-produkter); glødetap i Biorest ble ikke analysert i 2019

riale og vil samles opp med fiskeslammet. Det lave N/P forholdet i tørket fiskeslam vil føre til overgjødning med fosfor, hvis gjødselmengden beregnes ut fra nitrogeninnholdet, og særlig om man tar hensyn til den faktiske nitrogen-effekten. I feltforsøket ble opp til 16 kg P/dekar tilført med fiskeslam (Tørket fiskeslam 4 i 2020, tabell 3). I praktisk landbruk bør fiskeslam derfor kombineres med andre kilder for nitrogen og kalium, for å utnytte fosforet i slammet på en bærekraftig måte.

Bruken av fiskeslam som gjødsel er regulert i «Forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav» (Gjødselvarerforskriften). I 2019 var alle fiskeslam-produkter i kvalitetsklasse I, med unntak av Tørket fiskeslam 2 og Tørket biorest som var i i kvalitetsklasse II pga. høyt innhold av sink (Zn). I 2020 var alle fiskeslam-produkter i kvalitetsklasse II pga. høyt Zn innhold, med unntak av Biorest som var i kvalitetsklasse III pga. høyt innhold av kadmium (Cd). Sink er både et tungmetall og et næringsstoff og tilsettes fiskefôret for å sikre fiskens helse. Kadmium er et giftig tungmetall som kommer via de marine fôringrediensene. I forsøksplanleggingen tok vi ikke hensyn til begrensingene som Gjødselvarerforskriften setter, og flere fiskeslam-produkter ble dosert i noe større mengder enn tillatt etter dagens regelverk.

Effekt som nitrogengjødsel under feltforhold

På Øsaker var forsøksfeltet ujevnt og avlingene lave (2019: 204–430 kg/daa, 2020: 29–210 kg/daa), og kornplantene viste ingen respons på stigende gjødning med mineralgjødsel, hverken i 2019 eller 2020. Planteveksten var derfor sannsynligvis begrenset av andre årsaker enn gjødning (f.eks. dårlig jordstruktur på deler av feltet). Resultatene fra Øsaker er derfor tatt ut av datasettet, og vi viser bare resultater fra feltet i Rakkestad.

Feltforsøket i Rakkestad viser at fiskeslam kan ha like god nitrogeneffekt som mineralgjødsel, men at gjødselkvaliteten til fiskeslam varierer mellom ulike produkter.

Det var stor variasjon mellom gjentakene både i 2019 og 2020, og den statistiske analysen gir derfor ikke tydelige utslag for gjødselbehandlingene (tabell 5). I 2019 var effekten til Tørket fiskeslam 3 og 4 og Biorest og Tørket biorest ikke signifikant forskjellig fra Null-leddet eller Min N. Tørket fiskeslam 1 og 2 hadde ingen signifikant effekt sammenlignet med Null-leddet. I 2020 viser avlingen den kombinerte gjødseffekten av 2019 og 2020. I 2020 var Tørket biorest den eneste gjødselbehandling som ga signifikant høyere avling sammenlignet med det ugjødslete Null-leddet. Også gjødseffekten til Biorest var god. Tørket fiskeslam 4 så ut til å ha lavere gjødseffekt sammenlignet med de andre produktene, men forskjellen var ikke signifikant.

Tabell 5. Effekt av fiskeslam-produktene som nitrogengjødsel i felt (Rakkestad). SEM står for «pooled standard error of the mean». HSD står for «honestly significant difference» og viser resultatet av Tukey's test, en statistisk sammenligning av behandlingene med $P < 5\%$ etter enveis ANOVA. Bare forskjeller mellom behandlinger som er større enn HSD er statistisk sikre. i.s. = ikke signifikante forskjeller

Behandling	2019		2020	
	Avling kg/dekar	Relativ gjødseffekt %	Avling kg/dekar	Relativ gjødseffekt %
Null-ledd	455	-	436	-
½ mengde min. N	532	-	687	-
Mineral N	644	-	804	-
Tørket fiskeslam 1	415	-17	657	54
Tørket fiskeslam 2	452	3	636	48
Tørket fiskeslam 2-2	-	-	-	34 ¹
Tørket fiskeslam 3	507	31	664	56
Tørket fiskeslam 4	506	29	486	7
Biorest	544	50	809	95
Tørket biorest (+ fiskeslam)	495	25	828	100
SEM	31	11	76	21
HSD	160	52	374	i.s.

¹ Feltforsøk i korn i Rogaland (upubliserte data fra MAFIGOLD prosjektet). Tørket fiskeslam 2-2 er ikke inkludert i den statistiske testen

Nitrogenfrigjøring i inkuberingen

Data for frigjøring av nitrogen gjennom inkuberingsforsøket og modellens output er vist i figur 1. Fordeling av nitrogen i fraksjoner ($\text{NH}_4\text{-N}$, raskt- og langsomt tilgjengelig organisk nitrogen) er vist i figur 2.

I Biorest forelå nesten alt nitrogen som $\text{NH}_4\text{-N}$ (tabell 4) og dette ble gjenfunnet allerede ved dag 0 i inkuberingen (figur 1). Omtrent halvparten av det organiske nitrogenet i Biorest ble raskt mineralisert, mens resten ikke ble frigjort i løpet av inkuberingsforsøket. Den umiddelbare nitrogeneffekten til Biorest i inkuberingsforsøket er i samsvar med den gode gjødseffekten i felt (tabell 5).

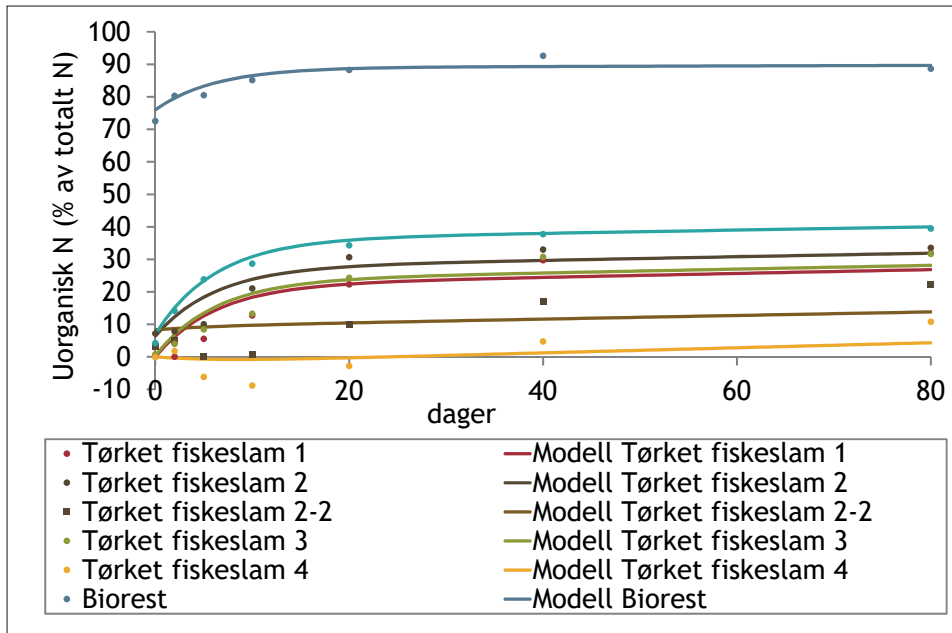
Tørket biorest + fiskeslam viste i 2020 tilsynelatende bedre effekt i feltforsøket enn i inkuberingsforsøket. Bare rundt 40 % av total-nitrogen var tilgjengelig som $\text{NH}_4\text{-N}$ eller ble raskt frigjort under inkuberingsforsøket, mens produktet viste like god effekt som Biorest og Min N i felt (2020). I 2019 var nitrogeneffekten til Tørket biorest ikke like god i felt.

For Tørket fiskeslam 1, 2 og 3 var innholdet av $\text{NH}_4\text{-N}$ lavt i utgangspunktet (tabell 4), men frigjøringen fra den raskt tilgjengelige organiske nitrogenfraksjonen gikk fort. Mellom 22 og 27 % av total-nitrogen i Tørket fiskeslam 1, 2 og 3 ble estimert (modell-beregning) til å være raskt plantenytt-

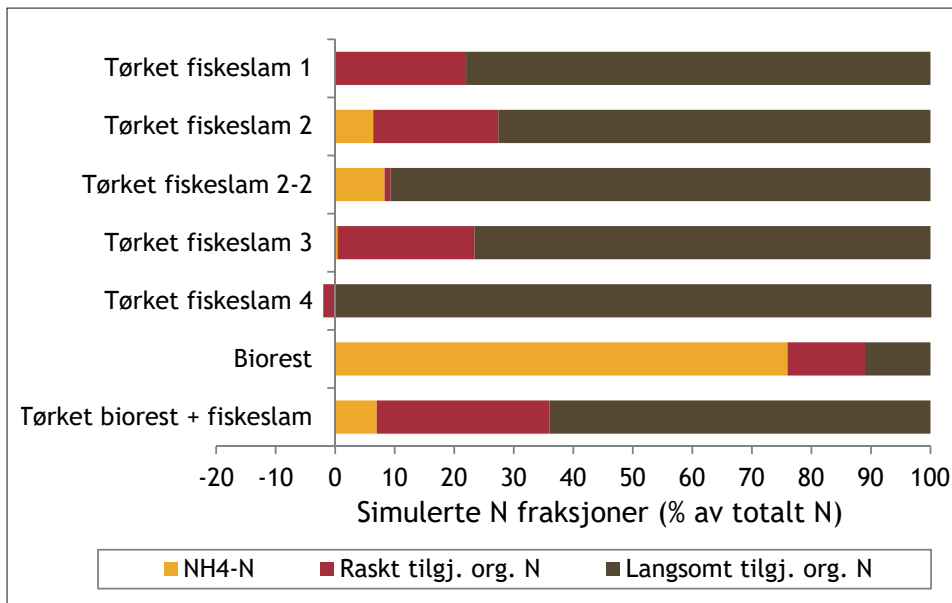
bart ($\text{NH}_4\text{-N}$ + raskt tilgjengelig organisk nitrogen), resten forelå som tungt tilgjengelig organisk nitrogen og er derfor lite nyttbart i løpet av den viktige tidlige fasen av næringsopptaket.

I Tørket fiskeslam 4 forelå ikke noe av nitrogenet som $\text{NH}_4\text{-N}$ (tabell 4), og etter innblanding i jord ble en nitrogenmengde tilsvarende 10 % av total-nitrogenet først tatt av mikrobenes fra jorda (immobilisering) før det ble frigjort igjen fra ca. dag 10. Dette er i samsvar med resultatene fra feltforsøket. I 2020 så Tørket fiskeslam 4 ut til å ha lavere nitrogeneffekt enn de andre fiskeslam-produktene. Sammenliknet med mønster for nitrogen-immobilisering og remineralisering av nitrogen i planterester, gikk remineraliseringen noe raskere i fiskeslam.

Vi spekulerer på om forskjellene mellom planterester og fiskeslam kan skyldes ulik kjemisk sammensetning av det karbonrike substratet som gir immobiliseringen. I planterester er det cellulose, mens det trolig er fett i fiskeslam. I det videre arbeidet vil vi undersøke om fett i fiskefôret er raskere nedbrytbart for mikroorganismene enn cellulose. Det er grunn til å vurdere om ratekonstantene i modellen bør endres når man går fra organisk gjødsel basert på rester av planter (terrestriske system) til produkter med marin opprinnelse (akvatiske system).



Figur 1. Målt (punkt) og simulert (linje) frigjøring av nitrogen fra fiskeslamproduktene (uorganisk N = sum av ammonium og nitrat).



Figur 2. Fordeling av total-nitrogen i fiskeslamproduktene (2020) i fraksjoner, funnet ved analyse ($\text{NH}_4\text{-N}$) og tilpassing av modell til inkuberingsdata (raskt- og langsomt tilgjengelig organisk nitrogen).

Sammenheng mellom gjødseffekt og nitrogenkvalitet

Det var god sammenheng mellom den relative gjødseffekten til fiskeslamproduktene i feltforsøket og simulert tilgjengelig nitrogen ($\text{NH}_4\text{-N}$ + raskt tilgjengelig organisk nitrogen) (figur 3a). Det betyr at metoden beskrevet i Henriksen *et al.* (2019) fungerer godt for å skille mellom raskt- og langsomt tilgjengelig organisk nitrogen også i fiskeslamprodukter. Bare Tørket biorest (+ fiskeslam) ligger langt utenfor regresjonslinjen med simulert tilgjengelig nitrogen som forklaringsvariabel og den relative gjødseffek-

ten i 2020 som responsvariabel. I 2019 var den relative gjødseffekten til Tørket biorest (+ fiskeslam) betydelig lavere enn i 2020, som viser den kombinerte gjødseffekten av to påfølgende år.

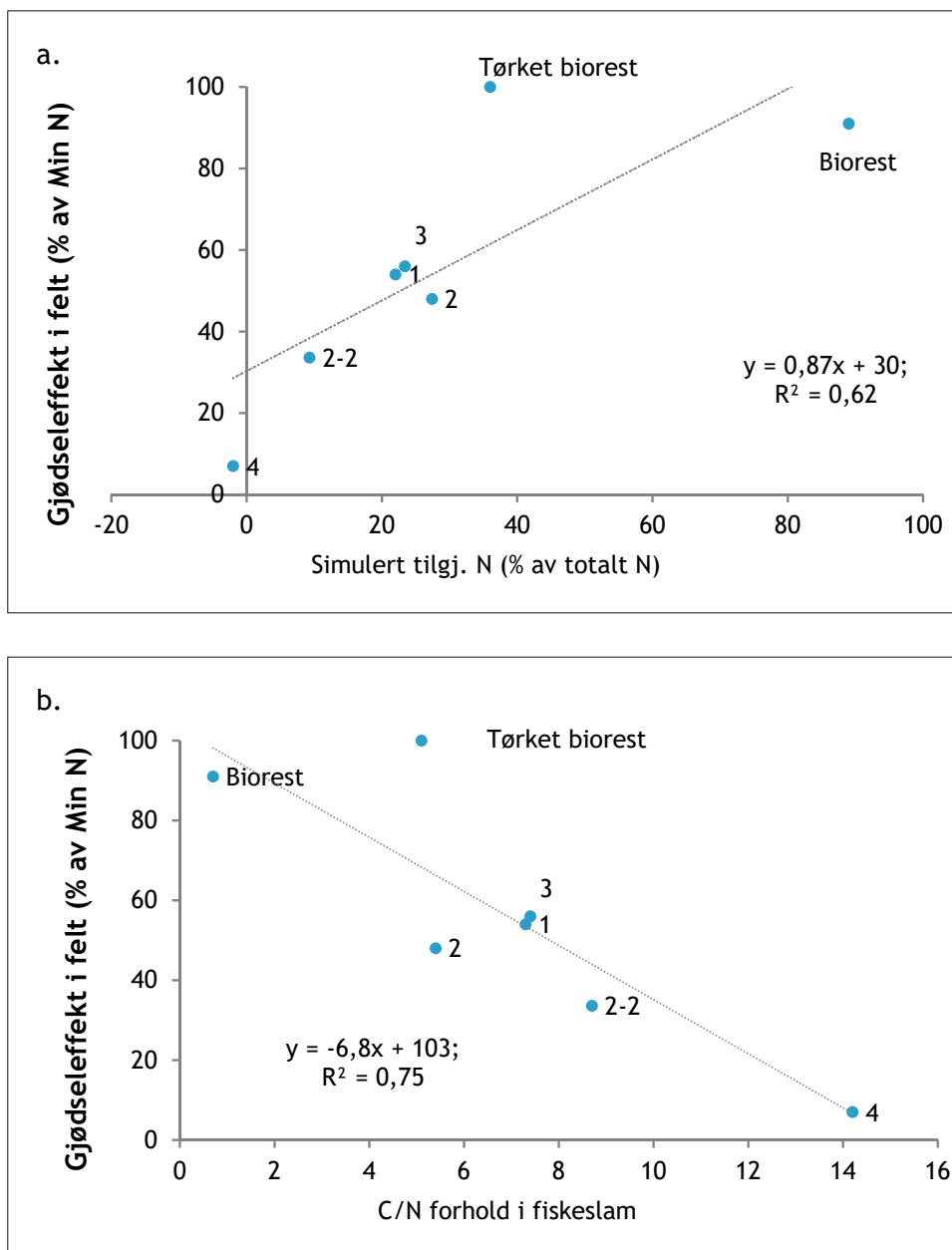
Det var videre godt samsvar mellom den relative gjødseffekten til fiskeslamproduktene i feltforsøket og C/N forholdet i fiskeslamproduktene (figur 3b); jo lavere C/N forholdet, desto bedre var den relative gjødseffekten i felt. Det var også godt samsvar mellom den relative gjødseffekten og total-nitrogen innhold i fiskeslamproduktene (resultater

ikke vist). Nitrogeneffekten til fiskeslam må vurderes i sammenheng med det relative innhold av ekskrementer og fôrrester. I en undersøkelse NOFIMA har foretatt, utgjorde fôrrester i gjennomsnitt 50 % av fiskeslammet, men variasjonen var stor (Aas *et al.* 2016). Det har ikke vært mulig å fremskaffe informasjon om andel fôrrester i de enkelte fiskeslam-produktene brukt her. Det er likevel sannsynlig at fiskeslam med høy andel fôrrester vil inneholde relativt mer raskt tilgjengelig organisk nitrogen og karbon (f.eks. protein) sammenlignet med fiskeslam med lav andel fôrrester, og at fiskeslam med høy andel fôrrester derfor vil ha relativt bedre effekt som nitrogengjødning.

Konklusjoner

Fiskeslam har stort potensial som nitrogengjødning til korn, og pga. høyt innhold av fosfor bør det kombineres med andre kilder for nitrogen og kalium. Både et to-årig feltforsøk og et inkuberingsforsøk med de samme produktene viser likevel at nitrogenkvaliteten varierer mellom ulike fiskeslam-produkter.

En Biorest av fiskeslam viste svært god effekt som nitrogengjødning. I dette produktet utgjorde $\text{NH}_4\text{-N}$ en stor andel av total-nitrogenet, og omtrent halvparten av det organisk bundne nitrogenet i Biorest mineraliserte raskt. Det er likevel både kostbart og energikrevende å frakte biorest. Det har derfor blitt



Figur 3. Sammenheng mellom den relative gjødseffekten i feltforsøket (% virkning i forhold til kontroll ledd Min N) og a. simulert tilgjengelig nitrogen ($\text{NH}_4\text{-N}$ + raskt tilgjengelig organisk nitrogen), og b. C/N forholdet i produktene.

gjort forsøk med å avvanne og tørke Biorest, men undersøkelsene våre viser at avvanning og tørking reduserer både nitrogeninnholdet og –effekten av det gjenværende.

I ulike tørkede fiskeslam-produkter var innholdet av $\text{NH}_4\text{-N}$ lavt i utgangspunktet, men frigjøringen fra den raskt tilgjengelige organiske nitrogenfraksjonen gikk fort. Den største andelen av nitrogen i de tørkede fiskeslam forelå likevel som tungt tilgjengelig organisk nitrogen. Ett tørket fiskeslam-produkt gav immobilisering av nitrogen i laboratorieforsøket, hvilket tyder på stort innhold av lett omsettelig karbon i forhold til innholdet av lett nyttbart nitrogen.

Inkuberingsforsøk i laboratoriet i kombinasjon med modellering har vist seg å være et relativt rimelig verktøy som kan gi en god indikasjon av nitrogenkvalitet i fiskeslam og potensialet for gjødseleffekt i felt. En bør i det videre arbeidet vurdere ratekonstantene i modellen.

Referanser

Aas, T.S., Ytrestøyl, T. & Berge, G.M. 2016. Tørrstoffinnhold i slam fra landbasert produksjon av Atlantisk laks. NOFIMA Rapport 32/2016. 19 s.

Brod, E., Oppen, J., Kristoffersen, A.Ø., Haraldsen, T.K., Krogstad, T. 2017. Drying or anaerobic digestion of fish sludge: Nitrogen fertilisation effects and logistics. *AMBIO* 46: 852–864.

Henriksen, T.M., Kristoffersen, A.Ø., Brod, E. & Øgaard, A.F. 2019. Nitrogeneffekt av organisk avfall til korn – et forsøk i laboratoriet. *NIBIO BOK* 5(1): 140-145.

Riley, H. 1996. Estimation of physical properties of cultivated soils in southeast Norway from readily available soil information. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences* 25, 51 s.