

Effektivisering av forvaltning av Svalbard-røye med miljø-DNA

Sluttrapport til Svalbards miljøvernfond

Carolyn M. Rosten, Henriette Vaagland, Ole Kristian Berg, Anders G. Finstad, Guttorm Christensen & Frode Fossøy

Trondheim 20.03.2021

UPUBLISERT

TILGJENGELIGHET

Åpen

PROSJEKTLEDER

Carolyn M. Rosten

ANSVARLIG FORSKNINGSSJEF

Ingebrigt Uglem

OPPDRAGSGIVER(E)/BIDRAGSYTER(E)

Svalbards miljøvernfond

OPPDRAGSGIVERS REFERANSE

17/128 / RiS ID 10901

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER/BIDRAGSYTER

Hanne Eriksen

Innhold

1 Innledning	4
1.1 Bakgrunn.....	4
2 Material og metode	5
2.1 Prøvetaking.....	5
2.1.1 Svalbard.....	5
2.1.2 Bjørnøya.....	6
2.2 Labanalyser.....	6
2.3 Prøvefiske.....	7
3 Resultater	8
3.1.1 Svalbard.....	8
3.1.2 Bjørnøya.....	9
4 Diskusjon	13
5 Litteratur	15

Forord

Røye er den eneste ferskvannsfisken som lever og reproduserer på Svalbard. Forskriften om fiske etter røye på Svalbard er fastsatt av Sysselemanden og har til formål å sikre en forvaltning av røye som ivaretar bestandenes produksjonsevne og sammensetning, og samtidig sikrer fritidsfiske som en viktig friluftaktivitet for både fastboende på Svalbard og tilreisende fiskere. Samtidig er det stilt krav til at den framtidige forvaltningen av Svalbardrøye skal være kunnskapsbasert og bestandsspesifikk. Til tross for innføringen av denne forskriften i 2008 er det så langt gjennomført få undersøkelser av røyebestandene på Svalbard, da konvensjonelle undersøkelser både er tidkrevende og kostbare.

I dette prosjektet har vi undersøkt muligheten for å bruke miljø-DNA som et rimeligere og raskere verktøy for overvåking av røyebestander på Svalbard. V har benyttet innsjøer på Bjørnøya for å sammenligne resultater fra prøvefiske med resultater fra miljø-DNA analyser.

Vi ønsker å takke Svalbards miljøvernfond for støtte til prosjektet. Vi ønsker også å takke Kystvakta for transport til Bjørnøya samt besetningen på Bjørnøya meteorologiske stasjon for assistanse under feltarbeidet. En spesiell takk rettes til Robert Harley Mostad, Tonje Hornnæs og Håvard I. Sneve for stor innsats i felt på Bjørnøya. Gustav Arntsen ved Sysselemanden på Svalbard og Arne Johannes Mortensen ved Statens Naturoppsyn takkes for hjelp til prøvetaking på Svalbard i 2020 og Craig R. Jackson ved NINA takkes for hjelp med kart og GIS analyser.

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Røye, *Salvelinus alpinus*, er verdens nordligste ferskvannsfisk og finnes hele veien rundt polhavet. Røya er den eneste ferskvannsfisken som lever og reproduserer i vassdrag på Svalbard, hvor den forekommer i to hovedformer, enten som ferskvannsstasjonær innlandsrøye eller som anadrom røye. Stasjonær røye forekommer i 100-150 innsjøer, mens sjørøye trolig forekommer i mindre enn 20 innsjøsystemer på Svalbard (Svenning 2010, Svenning mfl. 2020). Sjørøya foretar en næringsvandring ut i havet om sommeren, mens stasjonærrøya lever hele livet i innsjøen. På Bjørnøya finnes bare stasjonær røye og det er ikke noen presis kunnskap om hvor mange vann røye finnes i, men det er sannsynligvis flere innsjøer med stasjonær røye på Bjørnøya enn på hele Svalbard. I tillegg til disse to hovedformene, skiller man vanligvis også mellom «dvergrøye» og «kannibaler» blant stasjonære røyer. Mens dvergrøyene stort sett spiser insekter, går kannibalene over til en fiskediett der de spiser sine mindre artsfrender (Berg mfl. 2010)

For å kunne forvalte røye på Svalbard på en god måte er det nødvendig med et godt kunnskapsgrunnlag. Tilgjengeligheten til mange røyevann på Svalbard gjør overvåking og innhenting av kunnskap spesielt utfordrende. Evaluering og overvåking av høstbare fiskebestander med prøvefisking utfordres ofte av høye kostnader, vanskelig logistikk og mulig negativ innvirkning på fiskebestander. Storskala, effektiv forvaltningspraksis blir derfor begrenset både i geografisk omfang og hvor ofte man kan drive overvåking.

Forskriften om fiske etter røye på Svalbard (<https://lovdata.no/dokument/LTI/forskrift/2020-12-07-2626>) er fastsatt av Sysselmannen og har til formål å sikre en forvaltning av røye som ivaretar bestandenes produksjonsevne og sammensetning, og samtidig sikrer fritidsfiske som en viktig friluftaktivitet for både fastboende på Svalbard og tilreisende fiskere. Samtidig er det stilt krav til at den framtidige forvaltningen av Svalbardrøye skal være kunnskapsbasert og bestandsspesifikk. Nåværende forvaltning er basert på rapporten "Metodikk for prøvefiske etter røye på Svalbard" av Svenning (2010) hvor prøvefisking bør utføres hvert femte år. I forskriftens § 8a er det skrevet at «Prøvefiske kan bare skje dersom det ikke kan påvirke bestandens sammensetning og utvikling nevneverdig». Prøvefiske har etter dette forslaget kun vært gjennomført i Linnévatnet (Svenning mfl. 2020).

Miljø-DNA er en ny metode som har potensiale til å tilby en raskere og billigere overvåking, og som dessuten ikke involverer fangst eller påvirkning av fiskebestanden. Innsamling av vannprøver og analyser av miljø-DNA er en alternativ metode for overvåking av økosystemer. Levende organismer avgir stadig DNA til miljøet rundt seg i form av hudceller, spytt og avføring og lignende. Ved å filtrere vann gjennom et finmasket filter fanger man dette DNA'et, og med genetiske analyser kan man bestemme hvilke arter det kommer fra. Det har de siste årene skjedd store fremskritt med bruk av miljø-DNA for overvåking av fiskebestander (Lacoursière-Roussel mfl. 2016, Fossøy mfl. 2017, Fossøy mfl. 2018, Pochardt mfl. 2020, Boivin-Delisle mfl. 2021, Capo mfl. 2021, Rourke mfl. 2021). Disse fremskrittene gir nå muligheter for å utvikle en «ikke-invasiv» overvåking av Svalbardsrøyebestander. Man kan nå lage et indirekte bestandsestimat gjennom kvantifisering av miljø-DNA, og sammenligne dette estimatet for ulike innsjøer. Vi har vist at denne tettheten av DNA varierer i tid og rom innen og mellom innsjøer for flere fiskearter (Fossøy mfl. 2017). Det er derfor potensielt mulig å påvise hvor ulike arter oppholder seg innen en innsjø, og dokumentere endringer i bestander over tid.

I dette prosjektet vil vi undersøke om miljø-DNA kan brukes som et verktøy for å overvåke røye-populasjoner på Svalbard. Vi vil sammenligne tetthetsestimater fra konvensjonelt prøvefiske med miljø-DNA konsentrasjoner fra enkle vannprøver. NINA har i løpet av de siste årene utviklet både prøvetakingsutstyr og molekylære verktøy for analyser av miljø-DNA og har verifisert protokoller for mange akvatiske organismer (Fossøy mfl. 2017, Taugbøl mfl. 2017, Fossøy mfl. 2018, Taugbøl mfl. 2018, Wacker mfl. 2019, Magerøy mfl. 2020).

2 Material og metode

2.1 Prøvetaking

2.1.1 Svalbard

Miljø-DNA prøver ble samlet inn fra Hajeren og Richardvatnet i august 2019 (**Tabell 1, Figur 1**). Hajeren betraktes som en grunn innsjø med et maksimaldyp på om lag 14 meter. Store deler av innsjøen er grunnere enn 5 meter. Innsjøen kan være noe brepåvirket. Richardvatn er en stor innsjø og dyp innsjø med svært klart vann. Maksimaldypet er over 80 meter. Utfra tidligere undersøkelser betraktes fisketettheten i Hajeren som relativt god med storvokst kannibalrøye. Røyebestanden i Richardvatn består av både stasjonær og anadrom røye. Fisketettheten betraktes som lav. I 2020 ble miljø-DNA prøver samlet inn fra Linnévatnet og Bretjørna i Isfjorden samt Røyetjønnna ved Dirksodden i Widjefjorden med hjelp fra Sysselemannen på Svalbard (**Tabell 1**). Vann ble i begge år filtrert gjennom et 2.0 µm glassfiber filter (Merck Millipore) ved hjelp av en batteridrevet peristaltisk pumpe (Bürkle Vampire). Filtrene ble lagret i ATL-buffer (Qiagen) frem til videre analyser i lab.

Tabell 1. Oversikt over innsjøer med prøvetaking av miljø-DNA på Svalbard i 2019 og 2020.

Innsjø	Dato	Antall prøver
Hajeren	16.08.2019	4
Richardvatn	20.08.2019	2
Bretjørna	20.07.2020	6
Linnévatnet	30.07.2020	6
Røyetjønnna	22.07.2020	2



Figur 1. Posisjoner for miljø-DNA prøvetaking i innsjøer på Svalbard (Kart: Norsk Polarinstitutt)

2.1.2 Bjørnøya

Miljø-DNA-prøver ble samlet inn fra innsjøer nordøst på Bjørnøya i juni og juli 2020 (**Tabell 2**). Totalt ble 11 innsjøer undersøkt. I hver innsjø ble det tatt 5 prøver (paralleller) der det ble filtrert 5.0 liter vann gjennom et 2.0 µm glassfiber filter (Merck Millipore) ved hjelp av en batteridrevet peristaltisk pumpe (Bürkle Vampire). Filtrene ble lagret i ATL-buffer (Qiagen) frem til videre analyser i lab.

Tabell 2. Oversikt over innsjøer med prøvetaking av miljø-DNA på Bjørnøya 2020.

Innsjø	Dato	Dybde	Areal	Omkrets	Vannvolum
Haussvatnet	05.07.2020	2.5	1082.5	8.6	2735.7
Håbethvatnet	24.06.2020	2.9	191.5	2.4	550.9
Lygna	29.06.2020	9.6	531.3	4.0	5077.1
Nordre Steinsjø	27.06.2020	4.1	96.9	1.7	394.4
Olatjønna	25.06.2020	3.4	43.9	1.2	148.2
Spongvatnet	08.07.2020	1.9	214.4	2.9	406.6
Spælvatnet	30.06.2020	1.9	154.9	2.4	288.2
Stevatnet	01.07.2020	3.9	380.2	3.9	1487.8
Søndre Steinsjø	28.06.2020	3.4	64.7	1.5	219.6
Torstjønna	27.06.2020	3.0	66.1	1.1	196.7
Trestikkelen	29.06.2020	3.0	100.5	2.2	301.4

2.2 Labanalyser

DNA ble isolert fra filterprøvene ved hjelp av en NucleoSpin Plant II (Machery-Nagel) protokoll. En arts-spesifikk markør røye (Rodgers mfl. 2017) ble analysert ved bruk av digital-PCR (ddPCR). Dråper ble automatisk generert ved hjelp av en QX200 AutoDG robot (Bio-Rad), og PCR-amplifisering ble utført i en Veriti™ 96-Well Thermal Cycler (Applied Biosystems) med følgende temperaturer: først et denatureringssteg ved 95°C i 10 min, etterfulgt av 40 sykluser med denaturering ved 95°C i 30 sek, annealing og elongering ved 58°C eller 60°C i 1 min og et siste denatureringssteg ved 98°C i 10 min før avkjøling ved 4°C. Dråpene ble så automatisk avlest for tilstedeværelse eller fravær av fluorescens ved hjelp av en QX200™ Droplet Reader (Bio-Rad). Positive og negative dråper ble separert fra hverandre ved hjelp av QuantaSoft software v.1.7.4 (Bio-Rad) og dette blir videre brukt til å beregne tilstedeværelse og kvantifisere DNA. Antall DNA-kopier per liter vann ble utregnet via formelen:

$$1. \text{DNA}_{\text{kopier/L}} = (\text{DNA}_{\text{konsentrasjon}} / \text{PCR-volum}_{\text{ddPCR}}) * \text{Templatvolum} / \text{Vannvolum}$$

Hvor $\text{DNA}_{\text{konsentrasjon}}$ blir beregnet av QuantaSoft, PCR-volumet er 20 µl, Templatvolumet er DNA-mengden som inngår i PCR-reaksjonen og vannvolumet er mengden vann filtrert i felt. Vi setter en minimumsgrense på 3 positive dråper for å karakterisere en prøve som positiv for å redusere sannsynligheten for falske positive. Denne grensen er satt på bakgrunn av negative felt- og labkontroller der vi av og til observerer 1 eller 2 positive dråper, selv ved bruk av destillert vann i analysen.

2.3 Prøvefiske

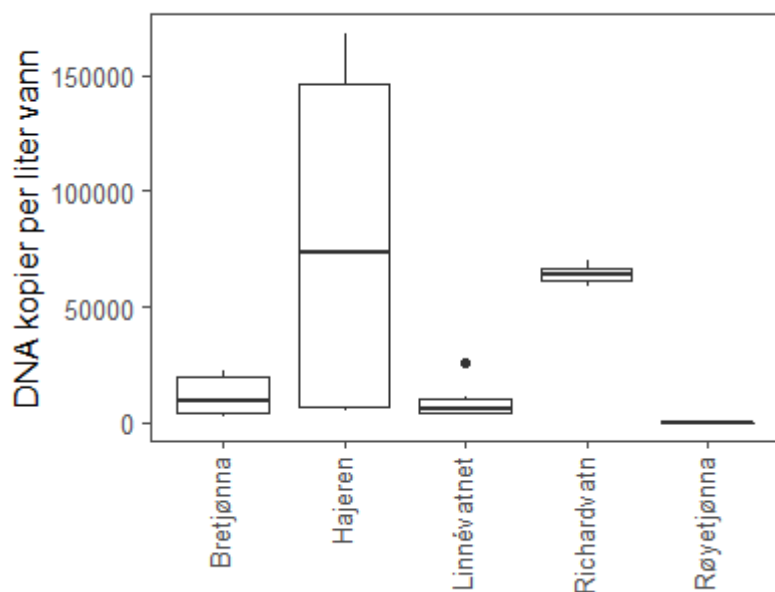
I tillatelsen fra Sysselmannen (20/00270-4) til denne undersøkelsen ble det lagt en begrensning på 10 prøvegarn/natt per innsjø. I enkelte vann ble det fisket flere netter for å oppnå et rimelig uttrykk for bestanden. Garna ble satt på ettermiddagen og sto til neste morgen. Garna ble satt enkeltvis og fordelt rundt vatnet. Det ble benyttet garn som er litt modifisert Nordic oversiktsgarn (Appelberg mfl. 1995) som er 30 x 1,5 meter med maskeviddene (mm): 8, 10, 12.5, 15.5, 19.5, 24.5, 29, 35 and 45. Fiskefangsten ble behandlet fersk, total lengde (mm) og masse (g) ble målt. Fisk ble dissekert, kjønn og kjønnsmodning ble bestemt og otolitter ble tatt ut.

Fiskene ble inndelt i morfer basert på lengde. Sammenhengen mellom alder og lengde for fisk fra ulike innsjøer og år viser en stagnasjon i vekst ved ca. 200 mm, som indikerer en overgang til kannibalisme ved denne størrelsen (Finstad mfl. 2000, Finstad mfl. 2003). På grunnlag av dette kategoriserte vi individer som «dverger» (< 150 mm) og «kannibaler» (≥ 150 mm).

3 Resultater

3.1.1 Svalbard

Resultatene fra miljø-DNA analysene viste høye konsentrasjoner av miljø-DNA i Hajeren og Richardvatn, som ble prøvetatt i 2019, selv om Hajeren viste stor variasjon mellom prøvene (**Figur 2**). Det er verdt å merke seg at for to av prøvene ble det kun filtrert 1 liter vann mens for de to andre prøvene ble det filtrert 5 liter vann per prøve. I Richardvatn ble det filtrert 5 liter vann for begge prøvene. Bretjønnna og Linnévatnet viste lavere konsentrasjoner og vi kunne ikke påvise røye-DNA i de to prøvene fra Røyetjønnna. For prøvene tatt i 2020 ble det filtrert opp til 1 liter vann per prøve. Prøvene i 2019 ble også tatt en måned senere (midten av august) enn i 2020.



Figur 2. Boksplot for miljø-DNA resultater fra Svalbard i 2019 og 2020.

3.1.2 Bjørnøya

Miljø-DNA analysene viste en god del variasjon både innen og mellom innsjøer (**Figur 3, Figur 4**). Vi fant spesielt høye verdier i Spongvatnet, og høye verdier i Lygna. I tillegg fant vi en lav og homogen DNA-konsentrasjon i Stevatnet. De resterende innsjøene viste en ganske lik DNA-konsentrasjon. Til sammenligning fant vi høye tetthetsestimater fra prøvefiske i Haussvatnet, Haabethvatnet og Stevatnet (**Figur 4, Tabell 3**).

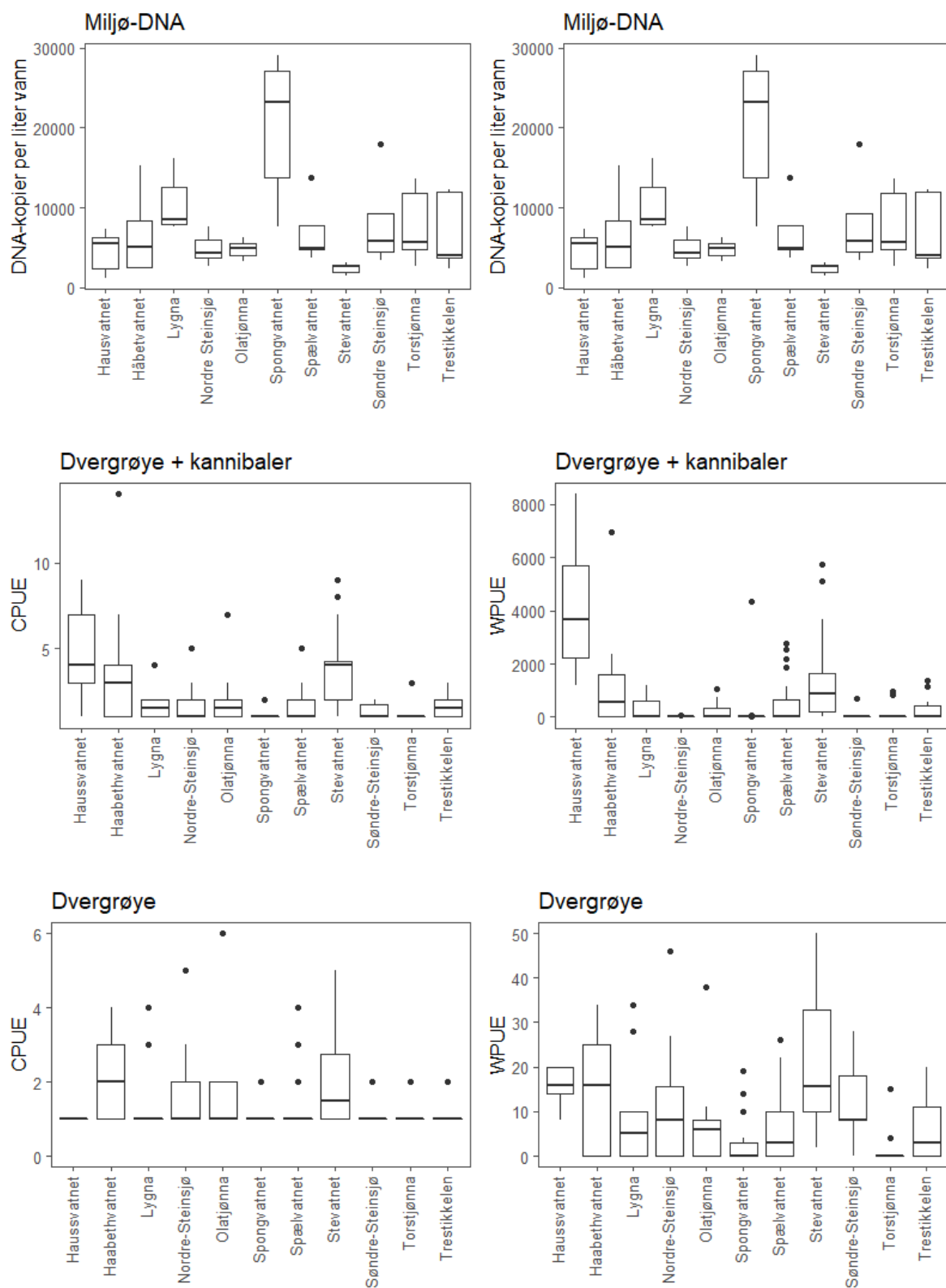
Sammenhengen mellom miljø-DNA og prøvefiske var motsatt av forventet, og viste en negativ korrelasjon (**Figur 5**). For grafene med både dvergrøye og kannibaler inkludert ser vi at de tre innsjøene med høyest CPUE hadde lave miljø-DNA-konsentrasjoner.

Tabell 3. Innsats og resultater fra prøvefiske på Bjørnøya 2020.

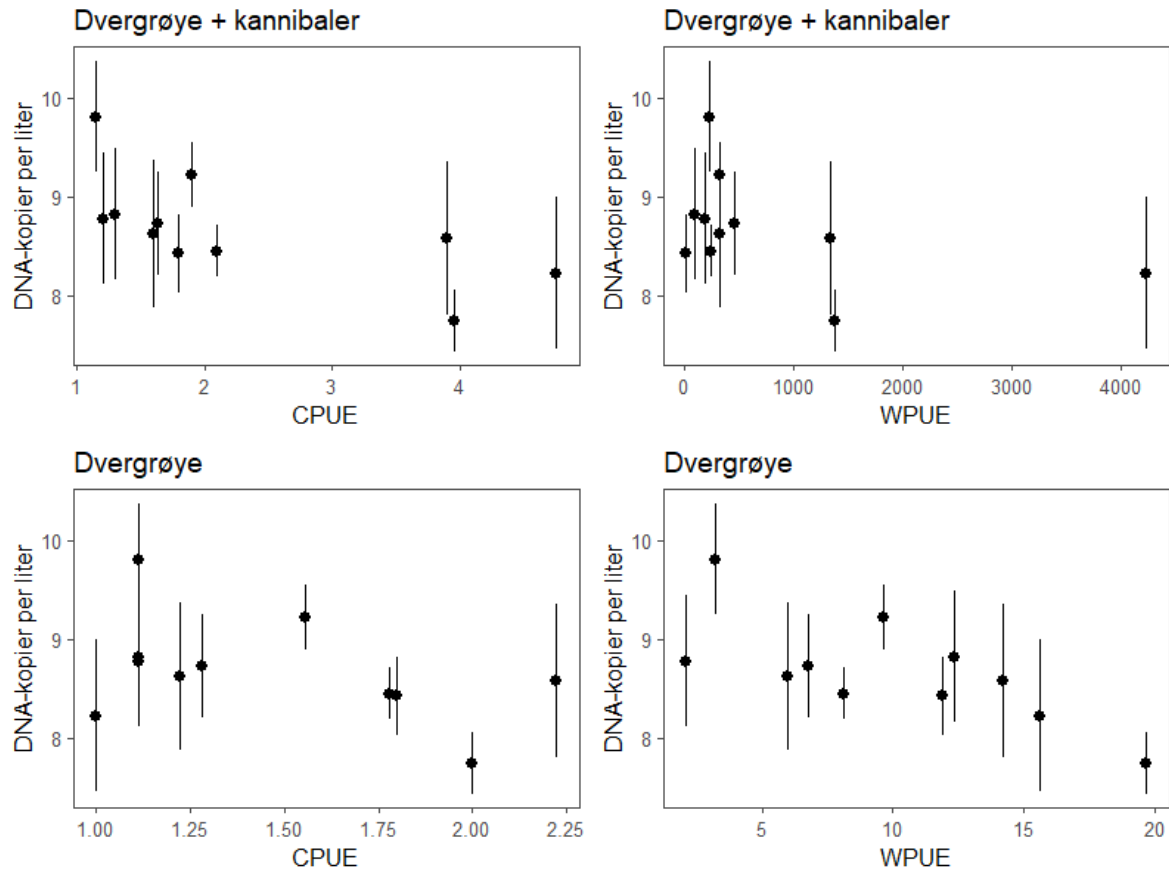
Innsjø	Dato	Antall garn	Antall fisk
Haussvatnet	2020-07-07,2020-07-08	20	95
Haabethvatnet	25.06.2020	10	39
Lygna	30.06.2020	10	19
Nordre-Steinsjø	28.06.2020	10	18
Olatjønnå	26.06.2020	10	21
Spongvatnet	2020-07-09,2020-07-10	20	23
Spælvatnet	2020-07-02,2020-07-03, 2020-07-04	30	49
Stevatnet	2020-07-05,2020-07-06	20	79
Søndre-Steinsjø	29.06.2020	10	13
Torstjønnå	27.06.2020	10	12
Trestikkelen	01.07.2020	10	16



Figur 3. Posisjoner for garnfiske og prøvetaking av miljø-DNA med DNA-konsentrasjonen visualisert som en fargegradient.



Figur 4. Boksplot for miljø-DNA (øverst) og prøvefiske med både dvergørøye og kannibaler (midten) og kun dvergørøye (nederst) for undersøkelser i 11 innsjøer på Bjørnøya 2020.



Figur 5. Korrelasjon mellom prøvefiske og miljø-DNA for undersøkelser i 11 innsjøer på Bjørnøya 2020.

4 Diskusjon

Innsjøene på Svalbard og Bjørnøya er generelt grunne, med liten temperaturvariasjon gjennom vannsøylen og dermed lite vertikal sjiktdannelse. I tillegg gjør skiftende vindforhold at sannsynligheten øker for at vannmassene blir mikset. Det finnes heller ingen andre fiskearter utenom røye. Slik sett er disse innsjøene svært gunstige for å teste sammenhengen mellom tetthet målt ved prøvafiske og DNA-konsentrasjon målt gjennom vannprøver. Men vi finner likevel ikke en positiv sammenheng mellom disse to tetthetsestimatene som forventet. Vi diskuterer flere mulige årsaker til dette.

Generelt ser vi stor variasjon for både konvensjonelt prøvafiske og miljø-DNA analyser innen hver innsjø på Bjørnøya. Dette er ikke uforventet da fiskene ikke står tilfeldig fordelt i en innsjø, men vil ha høyest tetthet der de lokale forholdene med hensyn til skjul og mattilgang er best. Tidligere undersøkelser av flere innsjøer i nærheten av Trondheim viser at variasjonen innen innsjøer kan være større enn variasjonen mellom innsjøer (Fossøy mfl. 2017). Det er ved tidligere feltarbeid på Bjørnøya observert at det grove substratet i strandsonen er et habitat hvor det oppholder seg mye dverggrøye. Dette kan påvirke DNA-konsentrasjonen i strandnære prøver på tross av at vindforholdene skulle tilsi en miksing av vatnet.

I dette studiet ble prøvafiske som vanlig foretatt fra båt, og dekket store deler av overflaten til innsjøene, mens prøvetaking av miljø-DNA ble foretatt fra land og dekket kun en mindre del av overflaten til innsjøene. En direkte kopling mellom garnposisjoner og prøvetaking av miljø-DNA hadde vært gunstig i forhold til analysene, men dette ble ikke gjennomført da vi ønsket å undersøke hvordan en enkel prøvetaking fra land samvarierer med en mer arbeidskrevende og kostbar prøvafiskeundersøkelse.

Generelt var garnfangstene små, spesielt for dverggrøye som utgjør størsteparten av biomassen i innsjøene (Berg m.fl. 2010). Variasjonen mellom garn var også som tidligere nevnt stor. Dette kan ha sammenheng med tidspunkt for prøvafiske som ble gjennomført på den lyseste tiden av året. Erfaringsmessig vil garn som fangstredskap bli mer effektivt lengre ut i sesongen, noe som gir høyere fangster og dermed mindre variasjon og sikrere estimater. Kombinert med en mulig relativt sett lite variasjon i tetthet mellom de undersøkte innsjøene på Bjørnøya kan dette gi opphav til mønstre i fangstene som skyldes tilfeldigheter.

Både dataene fra prøvafiske og miljø-DNA viser relativt liten variasjon mellom innsjøer. De like miljøbetingelsene mellom innsjøene medfører sannsynligvis også ganske like tettheter av røye. I en studie på Kanadarøye (*Salvelinus namaycush*), der man fant en god sammenheng mellom prøvafiske og miljø-DNA konsentrasjon i naturlige innsjøer, hadde man en variasjon i CPUE fra 1 til nesten 30 (Lacoursière-Roussel mfl. 2016). I dette studiet hadde vi en CPUE stort sett under 10 med kannibaler inkludert og under 6 med kun dverggrøye inkludert (Figur 1). Den lave variasjonen mellom innsjøer kan ha bidratt til den uforventete negative sammenhengen. Vi ser også at det er ganske mange garn uten fangst, og kun en natt med garnfiske for de fleste innsjøene kan gi usikre data.

Forekomsten av to morfer, dverggrøye og kannibaler, kan også ha påvirket sammenhengen mellom prøvafiske og miljø-DNA konsentrasjon. Kannibalene er fysisk mye større og viser en annen atferd enn dverggrøyene, og en høyere aktivitet frigir sannsynligvis mer DNA til omgivelsene. Prøvafiske med garn for overvåking av røyebestander i Arktis er omdiskutert og metoden kan føre til skjevheter i forekomst av ulike morfer (Finstad mfl. 2000, Finstad mfl. 2003). Det er derfor vanskelig å si hva som er den faktiske tettheten av fisk i disse innsjøene. Et fangst-gjenfangst studie er anerkjent som en mer presis metode for estimering av fisketetthet, men en slik

undersøkelse krever atskillig større arbeidsinnsats enn prøvefiske (Finstad mfl. 2000, Finstad mfl. 2003).

Miljø-DNA representerer en rask, rimelig og ikke-invasiv metode for påvisning av enkeltarter og artssamfunn. Flere studier har også funnet en god sammenheng mellom tetthet av fisk målt ved konvensjonelle metoder og konsentrasjonen av miljø-DNA (Lacoursière-Roussel mfl. 2016, Pochardt mfl. 2020, Boivin-Delisle mfl. 2021, Capo mfl. 2021, Rourke mfl. 2021). Selv om vi i dette studiet ikke fant en positiv sammenheng mellom prøvefiske og miljø-DNA konsentrasjon, anser vi at miljø-DNA kan være et mulig verktøy for å måle endringer i bestander over tid, og kanskje spesielt for røyebestandene på Svalbard og Bjørnøya. Det er imidlertid viktig å foreta metodiske undersøkelser som denne for å kunne utvikle metoden. Prøvefiske vil kunne ta ut store deler av bestandene og fisket etter røye er strengt regulert med maksimalkvoter for hver innsjø (<https://lovdata.no/dokument/LTI/forskrift/2020-12-07-2626>). Miljø-DNA kan imidlertid ikke fremskaffe data på alder, kjønn, størrelse og morfer per i dag. Dette er informasjon som krever fangst. Fremtidige analyser basert på miljø-RNA vil potensielt også kunne fremskaffe slike data fra vannprøver (Yates mfl. 2021). Miljø-DNA bør derfor foreløpig sees på som en komplementær metode som er rimeligere og raskere enn konvensjonelle metoder og som dermed kan benyttes årlig for å oppdage trender i bestandsendringer på et tidligere tidspunkt. Utstyret som brukes til innsamling av slike prøver er enkelt i bruk og egner seg fint til folkeforskningsprosjekt. Dette betyr at ivrige sportsfiskere og turgåere kan bidra som prøvetakere. Vi anbefaler en videre oppfølging av miljø-DNA som metode for forvaltning av Svalbardrøye med prøvetaking innen og mellom sesonger for å se hvordan DNA-konsentrasjoner endrer seg over tid.

5 Litteratur

- Appelberg, M, Berger, HM, Hesthagen, T, Kleiven, E, Kurkilahti, M, Raitaniemi, J & Rask, M. 1995. Development and intercalibration of methods in nordic freshwater fish monitoring. *Water, Air, and Soil Pollution* 85(2): 401-406.
- Berg, OK, Finstad, AG, Arnekleiv, PHOV & Nilssen, K. 2010. Dwarfs and cannibals in the Arctic: production of Arctic char (*Salvelinus alpinus* (L.)) at two trophic levels. *Hydrobiologia* 652: 337-347.
- Boivin-Delisle, D, Laporte, M, Burton, F, Dion, R, Normandeau, E & Bernatchez, L. 2021. Using environmental DNA for biomonitoring of freshwater fish communities: Comparison with established gillnet surveys in a boreal hydroelectric impoundment. *Environmental DNA* 3(1): 105-120.
- Capo, E, Spong, G, Koizumi, S, Puts, I, Olajos, F, Königsson, H, Karlsson, J & Byström, P. 2021. Droplet digital PCR applied to environmental DNA, a promising method to estimate fish population abundance from humic-rich aquatic ecosystems. *Environmental DNA* 3(2): 343-352.
- Finstad, AG, Jansen, PA & Langeland, A. 2000. Gillnet selectivity and size and age structure of an alpine Arctic char (*Salvelinus alpinus*) population. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 57(8): 1718-1727.
- Finstad, AG, Jansen, PA & Hirvonen, H. 2003. Bimodal size distributions in Arctic char, *Salvelinus alpinus*: artefacts of biased sampling. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 60(9): 1104-1110.
- Fossøy, F, Dahle, S, Eriksen, LB, Spets, MH, Karlsson, S & Hesthagen, T. 2017. Bruk av miljø-DNA for overvåking av fremmede fiskearter - utvikling av artsspesifikke markører for gjedde, mort og ørekyt. Norsk institutt for naturforskning. NINA Rapport 1299.
- Fossøy, F, Thaulow, J, Anglès d'Auriac, M, Brandsegg, H, Sivertsgård, R, Mo, TA, Sandlund, OT & T., H. 2018. Bruk av miljø-DNA som supplerende verktøy for overvåking og kartlegging av fremmed ferskvannsfisk. Norsk institutt for naturforskning. NINA Rapport 1586.
- Lacoursière-Roussel, A, Côté, G, Leclerc, V & Bernatchez, L. 2016. Quantifying relative fish abundance with eDNA: a promising tool for fisheries management. *Journal of Applied Ecology* 53(4): 1148-1157.
- Magerøy, J, Bækkelie, K, Mo, T, Brandsegg, H, Sivertsgård, R & Fossøy, F. 2020. Elvemusling i Aurskog-Høland og Nes kommuner. Lokalitetsfastsetting med miljø-DNA og oppfølgende vadesøk i Mangbekken, Haretonelva og Rabillfløyta. Norsk institutt for naturforskning. NINA Rapport 1707.
- Pochardt, M, Allen, JM, Hart, T, Miller, SDL, Yu, DW & Levi, T. 2020. Environmental DNA facilitates accurate, inexpensive, and multiyear population estimates of millions of anadromous fish. *Molecular Ecology Resources* 20(2): 457-467.
- Rodgers, TW, Olson, JR, Klobucar, SL & Mock, KE. 2017. Quantitative PCR assays for detection of five arctic fish species: *Lota lota*, *Cottus cognatus*, *Salvelinus alpinus*, *Salvelinus malma*, and *Thymallus arcticus* from environmental DNA. *Conservation Genetics Resources*.
- Rourke, ML, Fowler, AM, Hughes, JM, Broadhurst, MK, DiBattista, JD, Fielder, S, Wilkes Walburn, J & Furlan, EM. 2021. Environmental DNA (eDNA) as a tool for assessing fish biomass: A review of approaches and future considerations for resource surveys. *Environmental DNA* n/a(n/a).

- Svenning, M-A. 2010. Metodikk for prøvafiske etter røye på Svalbard NINA Rapport 645.
- Svenning, M-A, Bergane, VÅ & Borgstrøm, R. 2020. Sjørøya i Linnévassdraget. Sluttrapport til Svalbards miljøvernfond. NINA Rapport 1825. Norsk institutt for naturforskning. .
- Taugbøl, A, Dervo, BK, Bærum, KM, Brandsegg, H, Sivertsgård, R, Ytrehus, B, Miller, A & Fossøy, F. 2017. Første påvisning av den patogene soppen *Batrachochytrium dendrobatidis* (Bd) i Norge - Bruk av miljø-DNA for påvisning av fremmede arter. Norsk institutt for naturforskning NINA Rapport 1399: 25.
- Taugbøl, A, Dervo, BK, Sivertsgård, R, Brandsegg, H & Fossøy, F. 2018. Bruk av miljø-DNA til overvåkning av små- og storsalamander. Norsk institutt for naturforskning NINA-Rapport 1476.
- Wacker, S, Fossøy, F, Larsen, BM, Brandsegg, H, Sivertsgård, R & Karlsson, S. 2019. Downstream transport and seasonal variation in freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*) eDNA concentration. Environmental DNA 10.1002/edn3.10.
- Yates, MC, Derry, AM & Cristescu, ME. 2021. Environmental RNA: A Revolution in Ecological Resolution? Trends in Ecology & Evolution.

Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor

Postadresse: Postboks 5685 Torgarden, 7485 Trondheim

Besøks-/leveringsadresse: Høgskoleringen 9, 7034 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00, Telefaks: 73 80 14 01

E-post: firmapost@nina.no

Organisasjonsnummer 9500 37 687

<http://www.nina.no>



Samarbeid og kunnskap for framtidens miljøløsninger