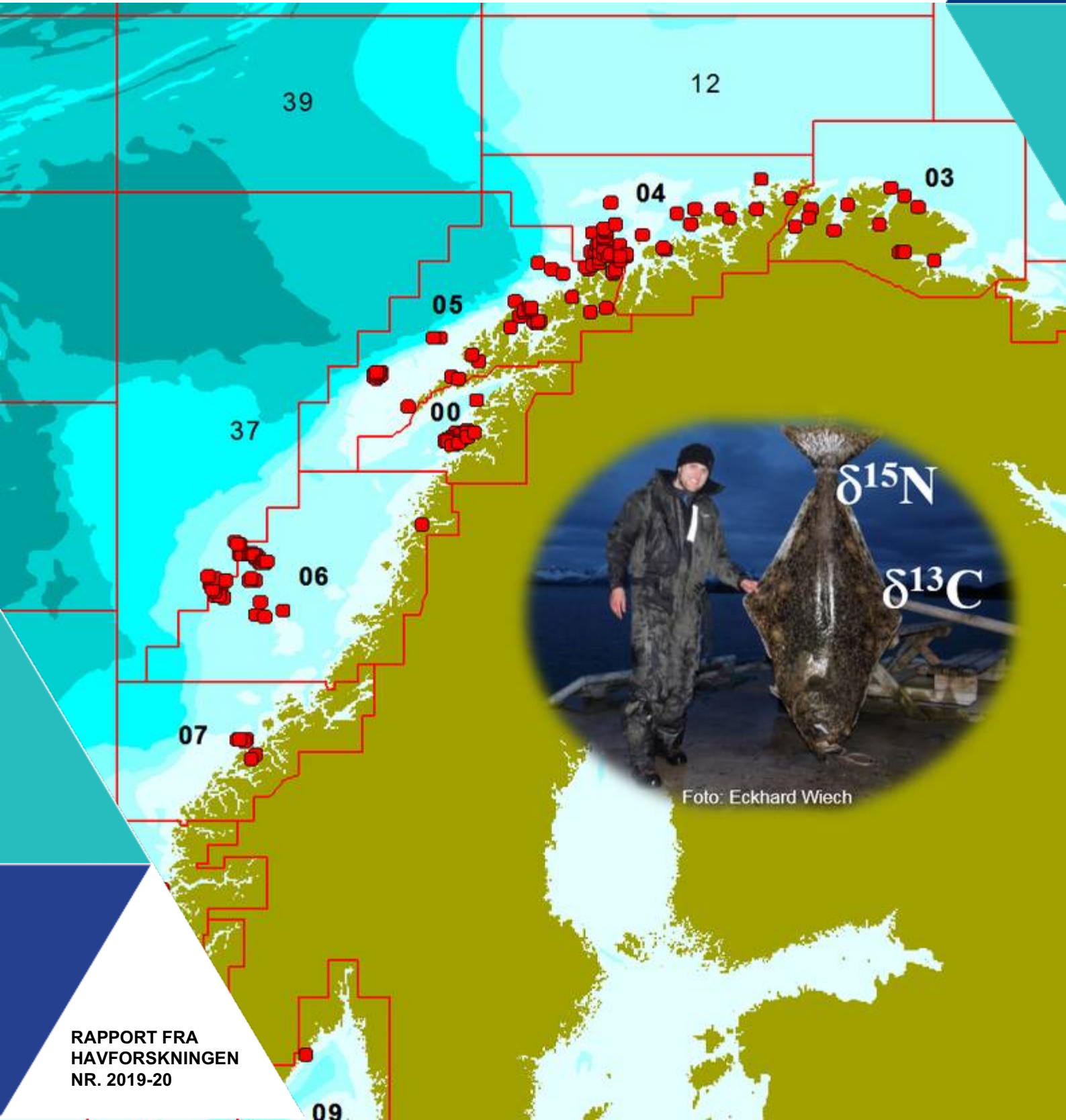




KVIKKSØLV OG ORGANISKE MILJØGIFTER I ATLANTISK KVEITE – NY INNSIKT FRA STABILE ISOTOPER AV NITROGEN OG KARBON

Bente Nilsen, Michael Bank og Monica Sanden (Havforskningsinstituttet)



Tittel (norsk og engelsk):

Kvikksølv og organiske miljøgifter i Atlantisk kveite – Ny innsikt fra stabile isotoper av nitrogen og karbon
Mercury and organic contaminants in Atlantic halibut - New insights from nitrogen and carbon stable isotopes

Rapportserie: Rapport fra Havforskningen
År - Nr.: 2019-20
Dato: 24.05.2019
ISSN:1893-4536

Forfatter(e):
Bente Nilsen, Michael Bank og Monica Sanden
(Havforskningsinstituttet)

Faggrupeleder(e): Monica Sanden (Fremmed- og smittestoff)
Godkjent av: Forskningsdirektør(er): Gro-Ingunn Hemre
Programleder(e): Livar Frøyland

Distribusjon:

Åpen

Oppdragsgiver(e):

Miljødirektoratet

Oppdragsgivers referanse:

17078240

Program:

Trygg og sunn sjømat

Faggruppe(r):

Fremmed- og smittestoff

Antall sider:

18

Sammendrag (norsk):

En omfattende kartleggingsundersøkelse av fremmedstoffer i atlantisk kveite gjennomført av NIFES i 2013-2016 viste at kveiter fra et havområde vest for Sklinnadjupet til eggakanten mellom Garsholbanken og Skjoldryggen hadde betydelig høyere nivåer av miljøgifter enn kveiter fra andre områder som ble undersøkt. Kartleggingsundersøkelsen viste at de høye nivåene av særlig kvikksølv, men også dioksiner og PCB, ikke skyldtes at kveitene fra dette området var større eller eldre enn kveiter fra andre områder. For å undersøke om de høye nivåene av miljøgifter kan forklares ved at kveiter fra dette området beiter høyere i næringskjeden enn kveite fra andre områder, har NIFES (nå Havforskningsinstituttet) på oppdrag fra Miljødirektoratet analysert kveiteprøvene fra kartleggingsundersøkelsen for stabile isotoper av nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) og karbon ($\delta^{13}\text{C}$). Resultatene viste at $\delta^{15}\text{N}$ -verdiene i kveiter fra området med høye nivåer av miljøgifter var betydelig lavere enn i de andre områdene, noe som kan tyde på at kveiter fra dette området beiter på et lavere trofisk nivå enn kveiter fra andre områder. Resultatene støtter dermed ikke hypotesen om at de høye nivåene av miljøgifter i kveite fra dette området skyldes at kveitene befinner seg høyere i næringskjeden.

Sammendrag (engelsk):

An extensive baseline study of contaminants in Atlantic halibut performed by NIFES in 2013-2016, showed that halibut from an open sea area west of Sklinnadjupet towards the continental shelf slope between Garsholbanken and Skjoldryggen had significantly higher levels of contaminants than halibut from other areas investigated. The high levels of mercury in particular, but also dioxins and PCBs, could not be explained by halibut in this area being larger or older than halibut from other areas. To investigate if the high levels of contaminants were due to halibut in this area feeding at a higher trophic level than in other areas, NIFES (now Institute of Marine Research) on assignment from the Norwegian Environment Agency analysed the halibut samples for stable isotopes of nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) and carbon ($\delta^{13}\text{C}$). The results showed that the $\delta^{15}\text{N}$ -levels in halibut from the area with high levels of contaminants was significantly lower than in halibut from other areas, indicating that halibut from this area is feeding at a lower trophic level than halibut from other areas. Thus, the results do not support the hypothesis that the higher level of contaminants in halibut from this area is due to halibut feeding at a higher level of the food web.

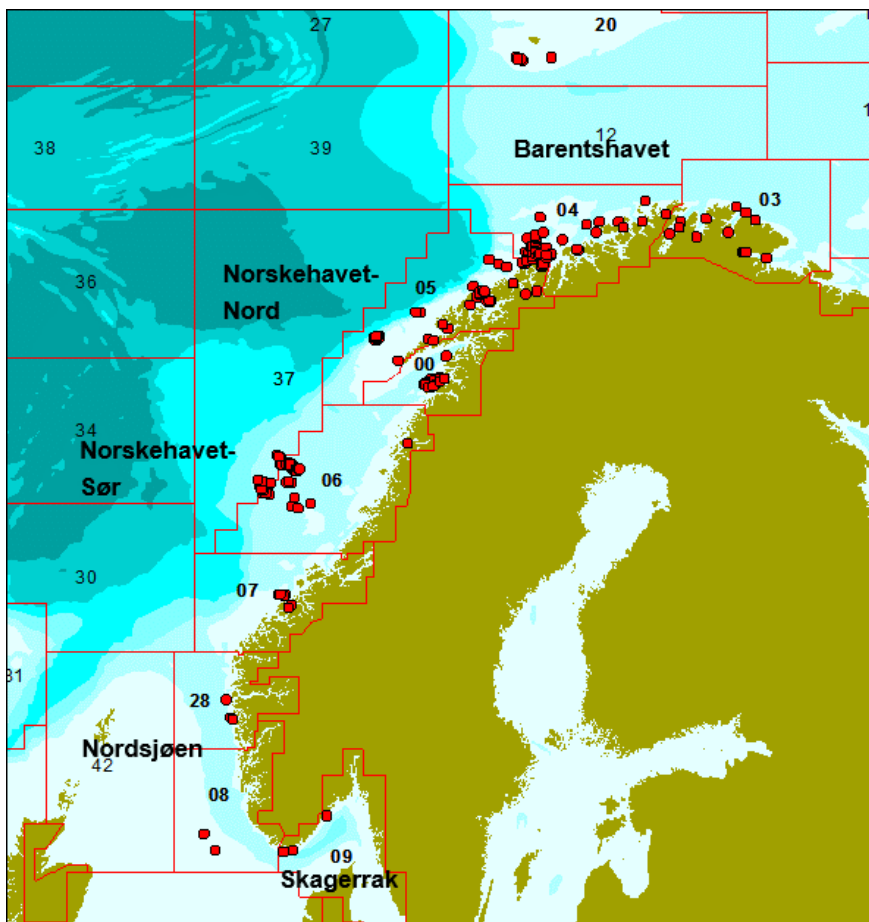
Innhold

1	Bakgrunn	5
2	Materiale og Metoder	8
2.1	Kveiteprøver	8
2.2	Analyse av stabile nitrogen- og karbonisotoper	8
2.3	Statistiske metoder	8
3	Resultater og Diskusjon	9
3.1	Nivåer av $\delta^{15}\text{N}$ og $\delta^{13}\text{C}$ i kveite fra ulike områder	9
3.2	Sammenheng mellom nivået av miljøgifter og $\delta^{15}\text{N}$	12
4	Konklusjon	15
5	Referanser	16
6	Vedlegg	17

1 - Bakgrunn

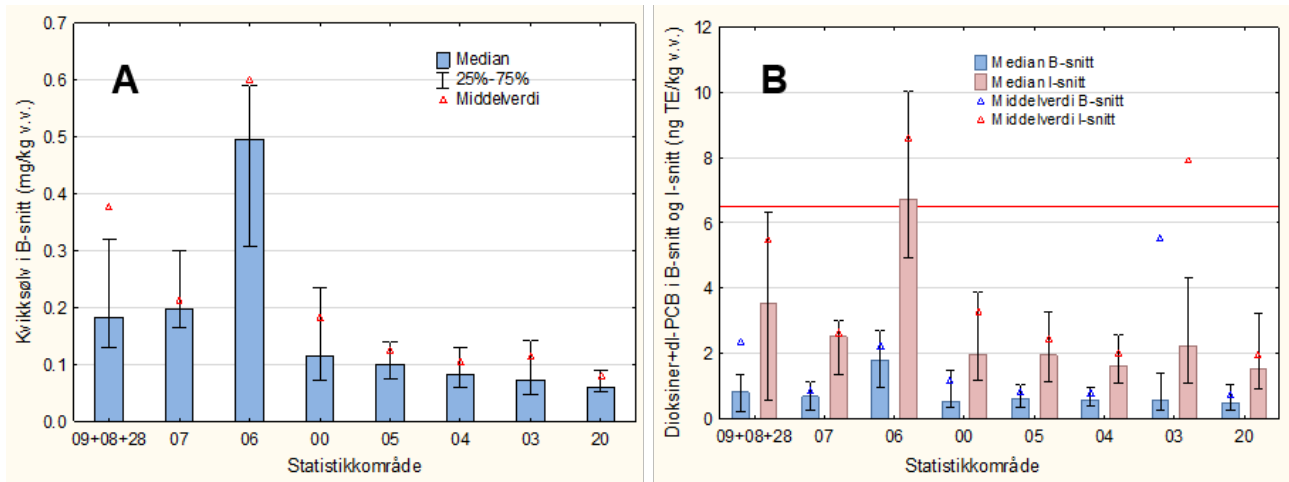
I perioden 2013-2016 gjennomførte Nasjonalt institutt for ernærings- og sjømatforskning (NIFES), på oppdrag fra Mattilsynet, en kartleggingsundersøkelse av fremmedstoffer i Atlantisk kveite (*Hippoglossus hippoglossus*) der muskelprøver fra totalt 392 kveiter i alle størrelser fra 0,7 kg til 225 kg ble analysert for arsen og tungmetaller (inkludert kvikksølv, kadmium og bly), organiske miljøgifter (dioksiner og dioksinlignende PCB, ikke-dioksinlignende PCB og polybromerte difenyletere) og perfluorerte alkylstoffer (PFAS) (Nilsen m.fl. 2016). De organiske miljøgiftene ble målt både i en relativt mager del av muskelen (B-snitt) og i en fet del av muskelen ned mot buklisten (I-snitt; Nortvedt og Tuene 1998), og metallene ble målt i B-snitt.

De fleste kveitene som ble undersøkt var mellom 11 og 40 kg som er den vektclassen som fiskes og omsettes mest. Størstedelen av kveitene ble fanget i de nordligste områdene av norske farvann, i Norskehavet og Barentshavet, med 74 fisk mellom 63°N og 67°N, 176 fisk mellom 67°N og 70°N, og 134 fisk mellom 70°N og 74°N. I tillegg ble det samlet inn totalt 8 kveiter i Nordsjøen og Skagerrak (Figur 1).



Figur 1. Prøvetakingsposisjoner (røde punkter) for hver enkelt kveite samlet inn i perioden oktober 2013 - mars 2016. Fiskeridirektoratets inndeling av havområdene i statistikkområder er angitt med røde linjer og nummer (svarte tall) på hvert statistikkområde.

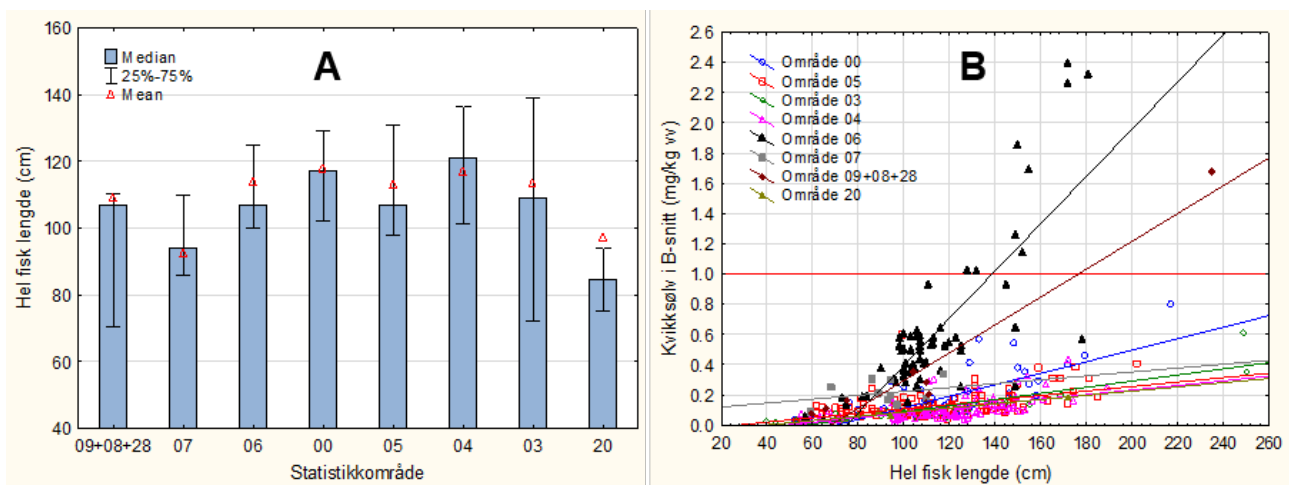
Resultatene fra denne kartleggingsundersøkelsen viste at nivåene av både kvikksølv og organiske miljøgifter i kveitefilet var betydelig høyere i kveite fanget innenfor statistikkområde 06 (se Fiskeridirektoratets inndeling i statistikkområder i kart i figur 1) enn i alle andre områder som ble undersøkt (Figur 2).



Figur 2. Konsentrasjon av (A) kvikksølv i B-snitt og (B) dioksiner og dioksinlignende PCB i B-snitt og I-snitt for atlantisk kveite fra ulike områder inndelt i henhold til Fiskeridirektoratets statistikkområder. Søylene angir medianverdier, rød eller blå trekant angir middelverdi og feilfelt viser 25 % og 75 % persentilen for hvert område. Horisontal rød linje viser EUs og Norges øvre grenseverdi for mattrygghet for dioksiner og dioksinlignende PCB (6,5 ng TE/kg våtvekt). Øvre grenseverdi for kvikksølv i kveitefilet ligger utenfor skalaen for fig 2A (1,0 mg/kg våtvekt). (Figurer fra Nilsen m.fl. 2016).

De fleste kveitene fra område 06 var fanget i et område ute i havet i ytre del av Sklinnadjupet mellom Garsholbanken og Skjoldryggen, og det var kveitene i dette havområdet som hadde de høyeste nivåene av kvikksølv og dioksiner+dl-PCB. Tre små kveiter som var fanget langs kysten litt lenger nord i område 06 hadde mye lavere nivåer.

Resultatene fra kartleggingsundersøkelsen viste at nivåene av både kvikksølv og organiske miljøgifter i kveite økte med økende størrelse på fisken i alle områdene som ble undersøkt. Men de høye nivåene av fremmedstoffer i havet i område 06 kunne likevel ikke forklares ved forskjeller i fiskens størrelse mellom de ulike områdene, siden kveitene i område 06 ikke var signifikant større enn kveitene fra de andre områdene som ble undersøkt (Nilsen m.fl. 2016; Figur 3A). Når vi så på sammenhengen mellom konsentrasjonen av kvikksølv og organiske miljøgifter og størrelsen på fisken og sammenlignet fisk av samme størrelse fra ulike områder, var det dessuten tydelig at for alle fiskestørrelser hadde kveitene fra område 06 høyere konsentrasjoner av disse uønskede stoffene enn kveite fra alle de andre områdene (vist for kvikksølv i Figur 3 B). På samme måte fant vi at dersom vi sammenlignet fisk på samme alder fra ulike områder, hadde kveite fra område 06 klart høyere konsentrasjoner av disse miljøgiftene enn kveite på samme alder fra andre områder (resultater ikke vist).



Figur 3. A) Lengde av atlantisk kveite fra ulike områder (inndelt i henhold til Fiskeridirektoratets statistikkområder). Søylene angir medianverdier, rød trekant angir middelverdi og feilfelt viser 25 % og 75 % persentilen for hvert område. B) Sammenheng mellom kvikksølvkonsentrasjon og lengde av fisken for kveite fra ulike områder. Rød, horisontal linje viser EUs og Norges grenseverdi for mattrygghet for kvikksølv i Atlantisk kveite (Figurer modifisert fra Nilsen m.fl. 2016).

En annen mulig forklaring på de høye nivåene av miljøgifter i kveite fra havområdet i ytre del av Sklinnadjupet i område 06 kan være at kveitene fra dette området har et annet fødevalg enn kveiter fra de andre områdene som ble undersøkt. Dersom kveiter fra område 06 har et fødevalg som betyr at de befinner seg høyere i næringskjeden (høyere trofisk nivå) enn kveite fra andre områder, kan dette føre til høyere nivåer av miljøgifter i fisken. For å undersøke dette nærmere fikk NIFES (nå Havforskningsinstituttet) 27. oktober 2017 i oppdrag fra Miljødirektoratet å analysere alle kveitene fra kartleggingsundersøkelsen for stabile isotoper av nitrogen (^{15}N og ^{14}N ; $\delta^{15}\text{N}$) og karbon (^{13}C og ^{12}C ; $\delta^{13}\text{C}$).

Analyse av naturlig forekommende stabile isotoper av nitrogen er en mye benyttet metode for å bestemme trofisk nivå av organismer i akvatiske økosystemer (Won m.fl. 2018). Forholdet mellom de naturlig forekommende stabile nitrogenisotopene ^{15}N og ^{14}N ($\delta^{15}\text{N}$) øker oppover i næringskjeden på grunn av anrikning av den tyngre nitrogenisotopen (^{15}N) i forhold til den lettere (^{14}N) i en konsument i forhold til dets bytte. $\delta^{15}\text{N}$ øker i gjennomsnitt med 3,4 ‰ for hvert trinn i næringskjeden (Post 2002, Borgå m.fl. 2012), og $\delta^{15}\text{N}$ -verdier kan derfor benyttes til å estimere hvor høyt i næringskjeden en organisme befinner seg.

I motsetning til $\delta^{15}\text{N}$, er forholdet mellom de stabile karbonisotopene ^{13}C og ^{12}C ($\delta^{13}\text{C}$) tilnærmet uendret når energi beveger seg oppover gjennom næringskjeden. Analyse av stabile isotoper av karbon kan derfor benyttes til å spore energikildene i en næringskjede siden $\delta^{13}\text{C}$ -verdier varierer mellom næringsnett med ulike primære karbonkilder (f.eks, mer terrestriske karbonkilder i bentiske og kystnære næringsnett og mer planteplankton i pelagiske næringsnett). $\delta^{13}\text{C}$ -verdiene er normalt høyere i bentiske eller kystnære næringsnett i forhold til pelagiske næringsnett (Hobson m.fl. 2002, Hoekstra m.fl. 2003).

I denne rapporten oppsummerer vi resultatene fra en undersøkelse der muskelprøvene (B-snitt) av atlantisk kveite fra kartleggingsundersøkelsen ble analysert for stabile isotoper av nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) og karbon ($\delta^{13}\text{C}$). Hensikten med arbeidet var å:

1. Bestemme nivået av $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$ i atlantisk kveite fra ulike områder.
2. Undersøke statistisk sammenheng mellom miljøgiftkonsentrasjonene og $\delta^{15}\text{N}$ -verdiene i kveitemuskel fra ulike områder.
3. Gi en vurdering av om variasjon i miljøgiftkonsentrasjoner for kveite fra ulike områder, og spesielt de høye nivåene av miljøgifter i område 06, kan forklares med variasjon i kveitas plassering i næringskjeden (trofisk posisjon).

2 - Materiale og Metoder

2.1 - Kveiteprøver

Frysetørkede muskelprøver (B-snitt) fra 372 av de 392 kveitene som ble undersøkt i kartleggings-undersøkelsen ble homogenisert, overført til prøveglass og sendt til Institutt for Energiteknikk, Kjeller. For de resterende 20 prøvene fra kartleggingsundersøkelsen (2 prøver fra Norskehavet-Sør, 6 prøver fra Norskehavet-Nord og 12 prøver fra Barentshavet) var det ikke materiale tilgjengelig for analyse.

2.2 - Analyse av stabile nitrogen- og karbonisotoper

Analyse av $\delta^{15}\text{N}$ og $\delta^{13}\text{C}$ ble gjennomført på Institutt for Energiteknikk ved hjelp av EA-IRMS (Eurovector EA3028 Elemental Analyser og Horizon Isotope Ratio Mass Spectrometer). Detaljert metodebeskrivelse og dokumentasjon av metodens nøyaktighet og presisjon er gitt i vedlegg 1.

2.3 - Statistiske metoder

Kveitene ble gruppert i henhold til områder tilsvarende Fiskeridirektoratets statistikkområder (Figur 1). Fra område 09, 08 og 28 var det samlet inn svært få fisk (8 fisk totalt) og disse områdene ble derfor slått sammen til ett område. For å teste om nivåene av $\delta^{15}\text{N}$ og $\delta^{13}\text{C}$ i kveitemuskel var signifikant forskjellige mellom ulike områder benyttet vi enveisvariansanalyse (ANOVA) fulgt av Tukey post-hoc test. Før ANOVA ble dataene testet for antagelsen om homogene varianser ved Levenes test og inspeksjon av residual plott.

«Trophic magnification slope» (TMS) for kvikksølv (Hg) og dioksiner og dioksin-lignende PCB (dioksiner+dl-PCB) i kveite fra ulike områder ble beregnet ved metoder beskrevet av Lavoie m.fl. (2013). TMS-verdier ble beregnet ved enkel lineær regresjon mellom \log_{10} -transformerte konsentrasjoner av Hg ($\log_{10}[\text{Hg}]$) eller dioksiner+dl-PCB ($\log_{10}[\text{dioksiner+dl-PCB}]$) og $\delta^{15}\text{N}$ for hvert område. Konsentrasjonen av dioksiner+dl-PCB ble omregnet til fettvektsbasis før \log_{10} -transformering for å redusere variasjon på grunn av varierende fettinnhold i fileten. TMS for kvikksølv er lik stigningstallet (b) for regresjonslinjen beskrevet ved:

$$\log_{10}[\text{Hg}] = a + (b)\delta^{15}\text{N}$$

TMS for dioksiner+dl-PCB er lik stigningstallet (b) for regresjonslinjen beskrevet ved:

$$\log_{10}[\text{dioksiner+ dl-PCB}] = a + (b)\delta^{15}\text{N}$$

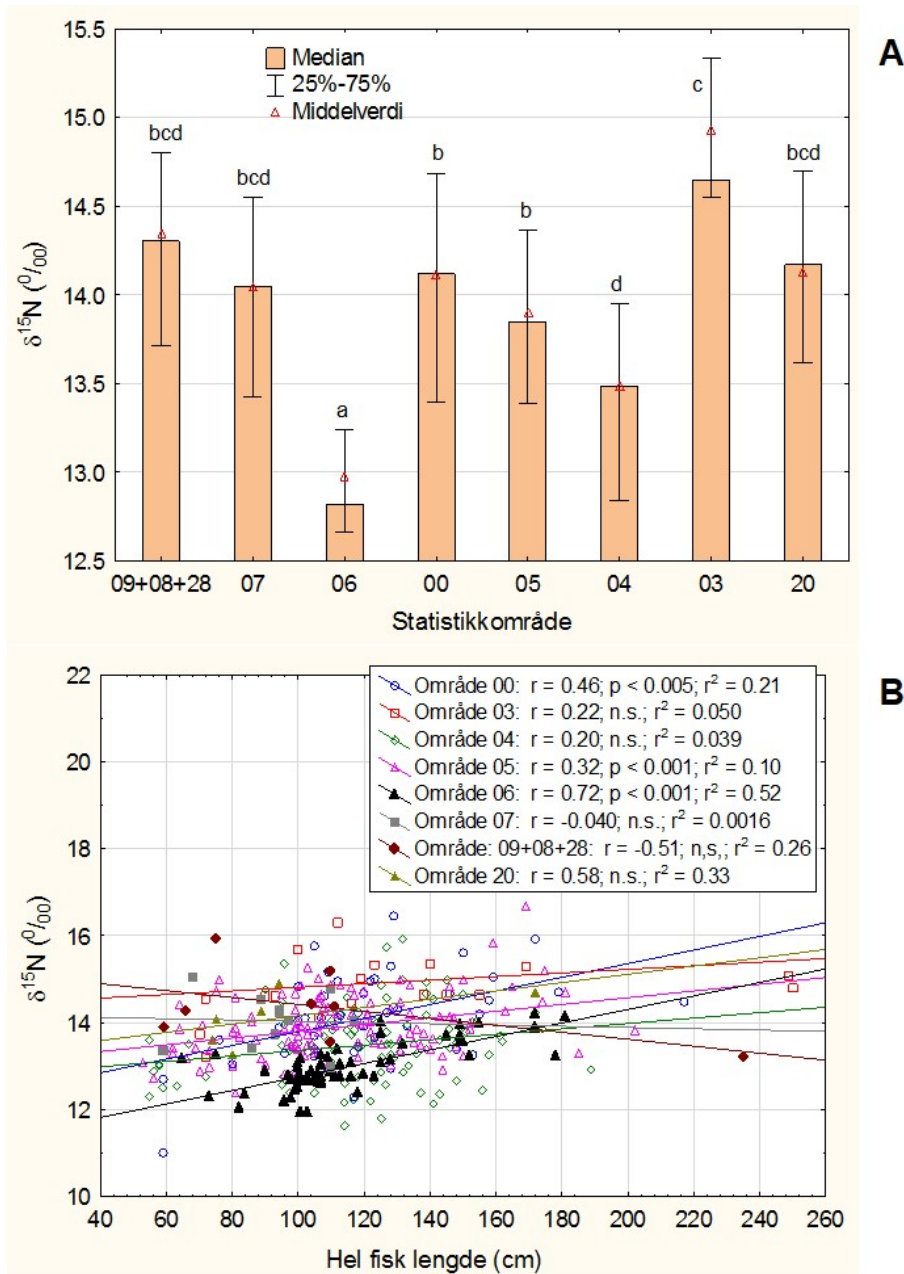
For fire av områdene som ble undersøkt ble det ikke funnet noen signifikant lineær sammenheng mellom $\log_{10}[\text{Hg}]$ og $\delta^{15}\text{N}$ eller $\log_{10}[\text{dioksiner+ dl-PCB}]$ og $\delta^{15}\text{N}$, og for disse områdene ble TMS derfor ikke beregnet. Dette gjaldt fire områder med færre enn 25 fisk i hvert område, dvs område 09+08+28 (8 fisk), område 07 (11 fisk), område 03 (24 fisk) og område 20 (6 fisk).

All statistisk analyse ble utført ved bruk av Statistica™ 13.1 (Dell Inc, Round Rock, TX, USA) og statistisk signifikans ble akseptert ved $p \leq 0,05$.

3 - Resultater og Diskusjon

3.1 - Nivåer av $\delta^{15}\text{N}$ og $\delta^{13}\text{C}$ i kveite fra ulike områder

Nivåene av stabile isotoper av nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) og karbon ($\delta^{13}\text{C}$) ble bestemt i B-snitt fra 372 av de 392 kveitene som inngikk i den tidligere kartleggingsundersøkelsen, og median og middelværdi for nivåene av $\delta^{15}\text{N}$ og $\delta^{13}\text{C}$ i kveite gruppert etter fangstområde er vist i figur 4A og 5A. Områdeinndelingen er i henhold til Fiskeridirektoratets statistikkområder (se figur 1).



Figur 4. A) $\delta^{15}\text{N}$ for atlantisk kveite fra ulike områder inndelt i henhold til Fiskeridirektoratets statistikkområder. Søylene angir medianverdier, rød trekant angir middelværdi og feilfelt viser 25 % og 75 % persentilen for hvert område. Ulike bokstaver over søylene viser signifikante forskjeller mellom områdene (enveis-ANOVA; $p < 0,05$) B) Lineær regresjon av $\delta^{15}\text{N}$ mot fiskens lengde i ulike områder. n.s. = ikke signifikant korrelasjon.

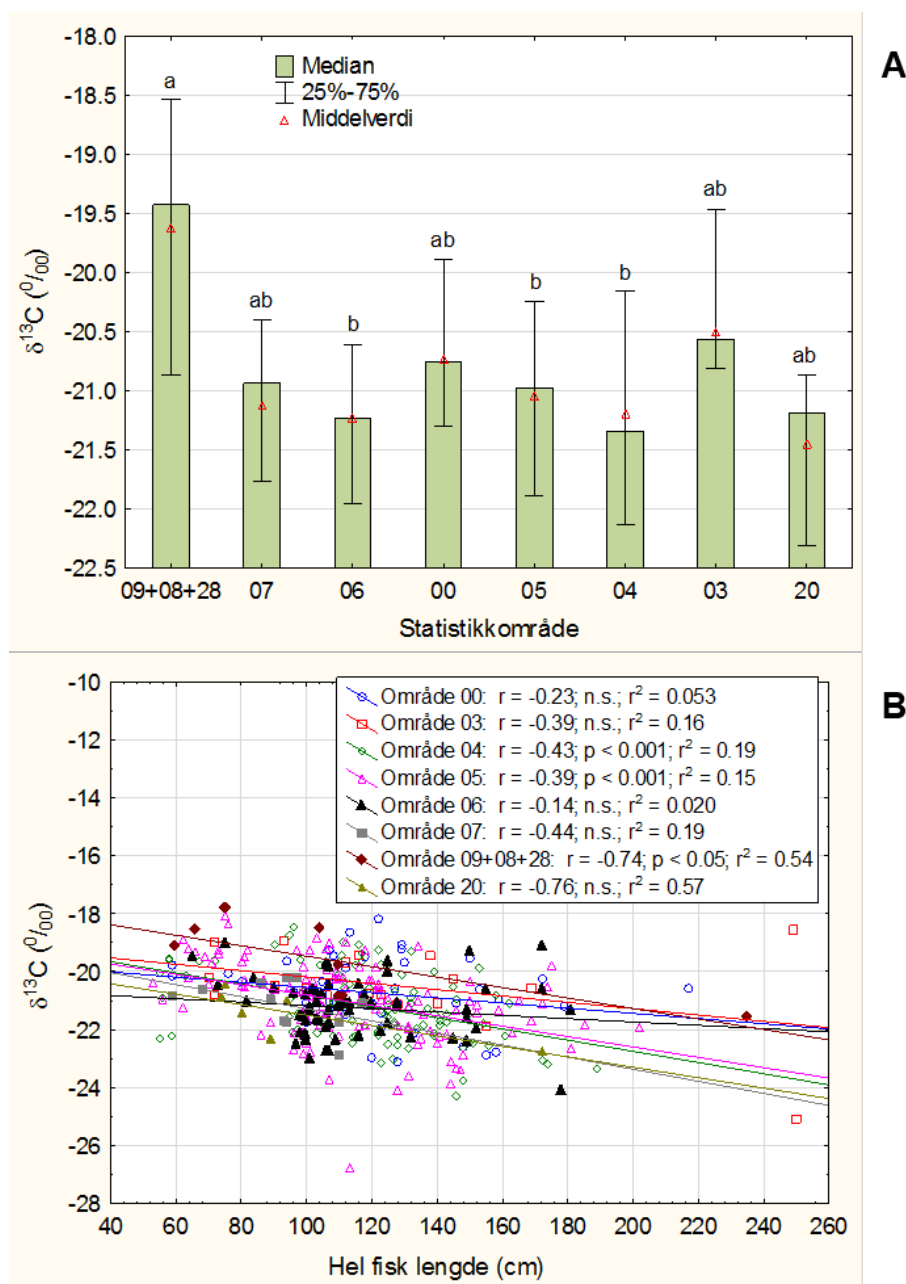
Resultatene viste stor variasjon i nivåene av $\delta^{15}\text{N}$ i atlantisk kveite mellom ulike områder (Figur 4A). Den høyeste medianverdien for $\delta^{15}\text{N}$ ble funnet i område 03 som var signifikant høyere enn de fleste andre områder (enveis ANOVA, $p < 0,005$ for alle områder unntatt område 07, 09+08+28 og 20 som ikke var signifikant forskjellige), mens nivået av $\delta^{15}\text{N}$ i kveite fra område 06 var signifikant lavere enn i kveite fra alle de andre områdene (enveis-ANOVA; $p < 0,05$ for område 20 og $p < 0,005$ for alle andre områder). Dette kan tyde på at kveiter fra område 06 beiter på et lavere trofisk nivå enn kveiter fra andre områder. Forskjellen mellom $\delta^{15}\text{N}$ medianverdiene for område 03 (14,6 ‰) og 06 (12,7 ‰) var 1,9 ‰, og siden $\delta^{15}\text{N}$ i gjennomsnitt øker med ca 3,4 ‰ for hvert trofisk nivå (Post 2002, Borgå m.fl. 2012), tilsvarte dette en forskjell på rundt 0,56 trofiske nivåer. I områdene rett sør for område 06 (område 07) og rett nord for område 06 (område 00 og 05) lå medianverdiene for $\delta^{15}\text{N}$ mellom 13,9 ‰ og 14,1 ‰, dvs ca 1,3 ‰ eller 0,4 trofiske nivåer høyere enn nivået målt i område 06.

Disse resultatene bør imidlertid tolkes med forsiktighet, da det ikke er en entydig sammenheng mellom absolutte $\delta^{15}\text{N}$ -verdier og trofisk nivå når man sammenligner næringsnett fra ulike områder. Siden $\delta^{15}\text{N}$ -nivået på bunnen av næringskjeden kan variere mellom ulike områder, kan organismer som befinner seg på samme trofiske nivå i ulike områder ha ulike verdier for $\delta^{15}\text{N}$ (Borgå m.fl. 2012). Da vi ikke har data for $\delta^{15}\text{N}$ på bunnen av næringskjeden i de ulike områdene som ble undersøkt her kan vi ikke korrigere for denne usikkerheten.

Det var en tydelig positiv korrelasjon mellom nivået av $\delta^{15}\text{N}$ og fiskens størrelse i område 06 ($r=0,72$, $p < 0,001$), og en noe svakere positiv korrelasjon i område 05 ($r=0,32$, $p < 0,001$) og område 00 ($r=0,46$, $p < 0,005$) (Figur 4B). At $\delta^{15}\text{N}$ -verdiene øker med økende størrelse på fisken, kan forklares ved at større kveiter beiter høyere i næringskjeden enn mindre kveiter. Selv om $\delta^{15}\text{N}$ -verdiene økte med økende størrelse på kveitene i område 06, var det likevel tydelig ved alle fiskestørrelser at kveitene fra område 06 ved en gitt størrelse hadde lavere $\delta^{15}\text{N}$ -verdier enn fisken fra alle andre områder (Figur 4B).

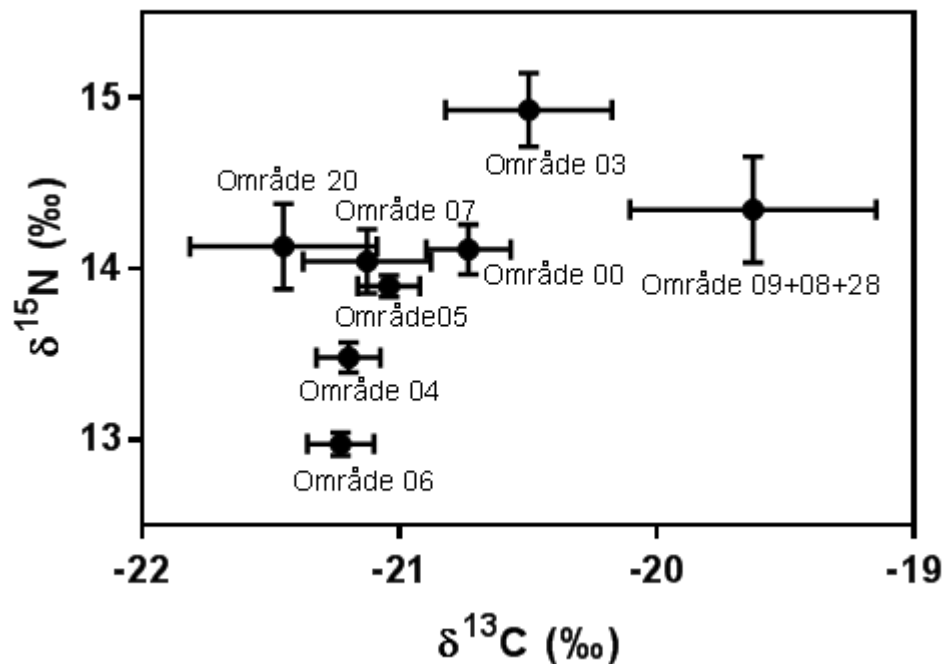
Analysene av stabile isotoper av karbon viste liten variasjon i $\delta^{13}\text{C}$ -verdiene mellom områdene. $\delta^{13}\text{C}$ -verdier kan brukes for å skille mellom næringsnett med ulike primære karbonkilder, og verdiene er normalt høyere i bentiske eller kystnære næringsnett som har mer terrestriske karbonkilder enn i pelagiske næringsnett som er mer basert på planteplankton (Hobson m.fl. 2002, Hoekstra m.fl. 2003). $\delta^{13}\text{C}$ -verdiene for alle områdene som ble undersøkt i dette arbeidet lå innenfor det som tidligere er funnet i pelagiske næringsnett (Hobson m.fl. 2002, Hoekstra m.fl. 2003). Kveite fra de sørligste områdene (område 09+08+28) hadde noe høyere median- og middelvei for $\delta^{13}\text{C}$ enn område 06, 05 og 04 (enveis ANOVA; $p < 0,05$), men ellers var det ingen signifikante forskjeller mellom områdene (Figur 5A). De noe høyere verdiene for $\delta^{13}\text{C}$ i område 09+08+28 stemmer godt overens med at kveitene fra dette området i hovedsak var tatt nærmere kysten enn kveiter fra område 06, 05 og 04.

Lineær regresjon av $\delta^{13}\text{C}$ mot fiskens lengde viste at det var en moderat negativ korrelasjon mellom $\delta^{13}\text{C}$ og fiskens størrelse i område 04 ($r = -0,43$, $p < 0,001$) og område 05 ($r = -0,39$, $p < 0,001$), og en tydelig negativ korrelasjon i område 09+08+28 ($r = -0,74$, $p < 0,05$) (Figur 5B). At $\delta^{13}\text{C}$ -verdiene avtar med økende størrelse på fisken i enkelte områder kan tyde på at mindre kveiter beiter noe mer bentisk og/eller nærmere kysten enn større kveiter i disse områdene. For de fleste områdene, inkludert område 06, var det imidlertid ingen signifikant korrelasjon mellom $\delta^{13}\text{C}$ og størrelsen på fisken.



Figur 5. A) $\delta^{13}\text{C}$ for atlantisk kveite fra ulike områder inndelt i henhold til Fiskeridirektoratets statistikkområder. Søylene angir medianverdier, rød trekant angir middelverdi og feilfelt viser 25 % og 75 % persentilen for hvert område. Ulike bokstaver over søylene viser signifikante forskjeller mellom områdene (enveis-ANOVA; $p < 0,05$) B) Lineær regresjon av $\delta^{13}\text{C}$ mot fiskens lengde i ulike områder. n.s.= ikke signifikant korrelasjon.

Når vi ser på middelverdiene for både $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$ i kveiter fra de ulike områdene (Figur 6), er det mulig å dele områdene i tre grupper, én gruppe der kveitene har forholdsvis lave verdier for både $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$ (område 06 og 04), én gruppe der kveitene har forholdsvis høye verdier for både $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$ (område 03 og område 09+08+28) og én gruppe som har forholdsvis lave verdier for $\delta^{13}\text{C}$ og forholdsvis høye verdier for $\delta^{15}\text{N}$ (område 20, 07, 00 og 05). Sagt på en annen måte kan dette tyde på at kveitene fra område 03 og 09+08+28 i gjennomsnitt beiter litt høyere i næringskjeden og litt mer bentisk og/eller kystnært enn kveiter fra område 06 og 04, mens kveiter fra område 05, 00, 07 og 20 i gjennomsnitt beiter litt høyere i næringskjeden, men ikke mer bentisk og/eller kystnært enn kveitene fra område 06 og 04.

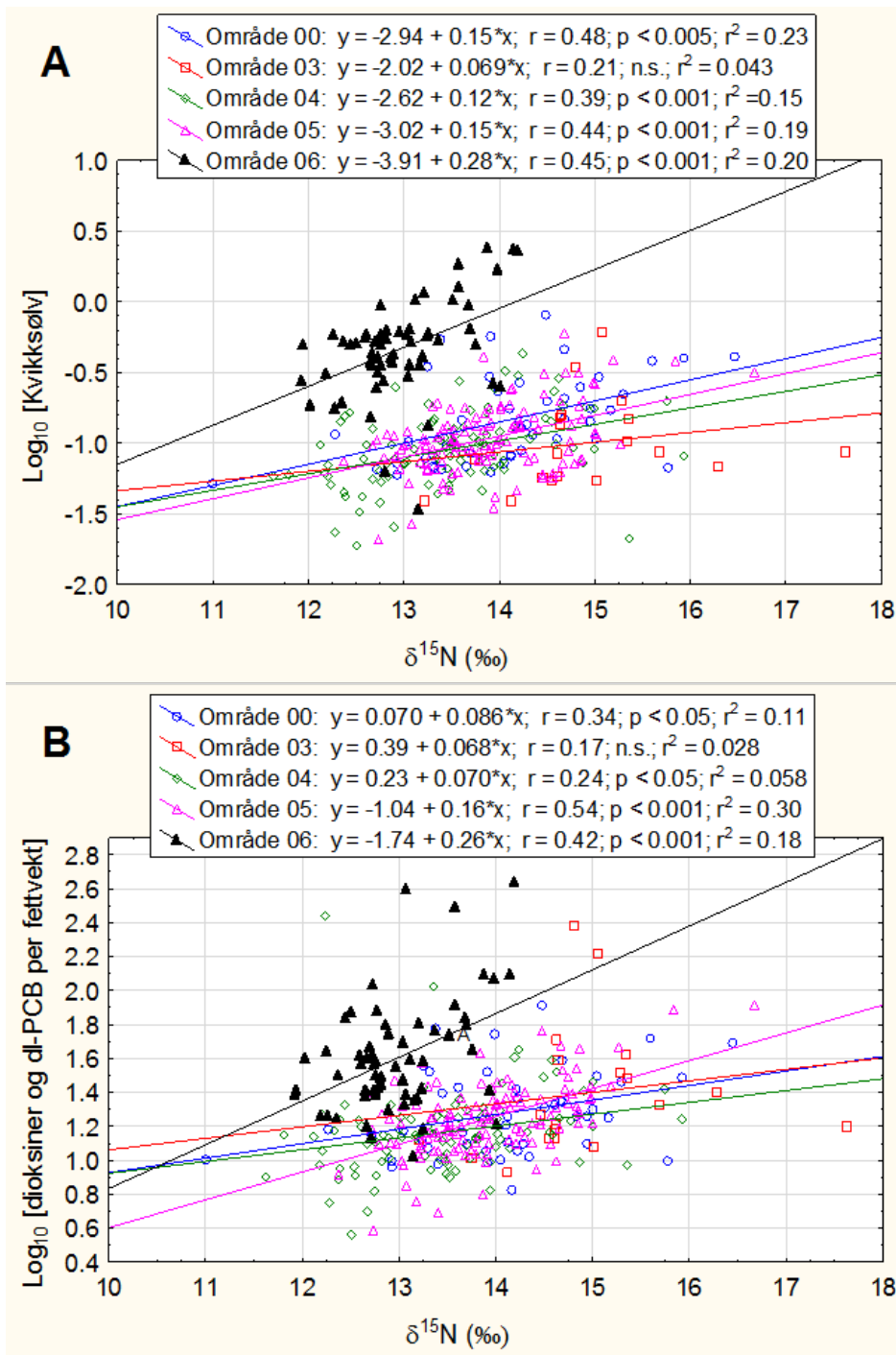


Figur 6. $\delta^{15}\text{N}$ - og $\delta^{13}\text{C}$ -verdier (middelverdi \pm SE) for atlantisk kveite fra ulike områder.

3.2 - Sammenheng mellom nivået av miljøgifter og $\delta^{15}\text{N}$

Nivåene av miljøgifter i kveitene i denne undersøkelsen var tidligere bestemt i kartleggings-undersøkelsen beskrevet over (Nilsen m.fl. 2016). For å undersøke sammenhengen mellom nivået av miljøgifter og $\delta^{15}\text{N}$ -verdier i kveite fra de ulike områdene ble det benyttet lineær regresjon av log-transformert kvikksølvkonsentrasjon mot $\delta^{15}\text{N}$ (Figur 7A) og lineær regresjon av log-transformert konsentrasjon av dioksiner og dioksinlignende PCB (på fettvektsbasis) mot $\delta^{15}\text{N}$ (Figur 7B). Resultatene viste at de log-transformerte konsentrasjonene av både kvikksølv og dioksiner og dioksinlignende PCB i kveite økte lineært med økende $\delta^{15}\text{N}$ i område 06 ($r=0,45$, $p<0,001$) og de tre nærmeste områdene nord for område 06 (område 00, 05 og 04; $r=0,39-0,48$, $p<0,005$). De fire øvrige områdene (område 09+08+28, 07, 03 og 20) viste ingen signifikant korrelasjon mellom konsentrasjonen av disse miljøgiftene og $\delta^{15}\text{N}$, trolig på grunn av lavt antall fisk fra hvert av områdene ($n=6-24$ fisk) (resultater for område 09+08+28, 07 og 20 ikke vist).

Stigningstallet for kurven av log-transformert miljøgiftkonsentrasjon mot $\delta^{15}\text{N}$, kalt «Trophic magnification slope» (TMS), benyttes ofte som et mål på graden av biomagnifisering av miljøgifter i et næringsnett (Lavoie m.fl. 2013). Vanligvis beregnes TMS fra kurver der miljøgiftkonsentrasjonen for flere ulike arter i et næringsnett plottes mot $\delta^{15}\text{N}$ fra de samme artene. I dette arbeidet, der vi ønsket å sammenligne TMS-verdier for kveite fra ulike områder, ble TMS i stedet beregnet fra kurver der miljøgiftkonsentrasjonen i enkeltkveiter ble plottet mot $\delta^{15}\text{N}$ fra de samme kveitene. TMS ble beregnet både for kvikksølv og dioksiner og dioksinlignende PCB for de fire områdene 06, 00, 05, og 04 (Figur 7A, B) der det var en lineær sammenheng mellom log-transformert miljøgiftkonsentrasjon og $\delta^{15}\text{N}$. Resultatene viste at TMS for kvikksølv var betydelig høyere i område 06 (TMS = 0,28) enn i område 00, 05 og 04 der TMS lå mellom 0,12 og 0,15 (Figur 7A). Likeledes var TMS for dioksiner og dioksinlignende PCB vesentlig høyere i område 06 (TMS = 0,26) enn i område 00, 05 og 04 (TMS = 0,07-0,16) (Figur 7B). Dette tyder på at konsentrasjonen av både kvikksølv og dioksiner og dioksinlignende PCB i kveite øker raskere med økende trofisk nivå (høyere biomagnifiseringsrate) i område 06 enn i område 00, 05 og 04.



Figur 7. Lineær regresjon av A) \log_{10} -transformert kvikksølvkonsentrasjon og B) \log_{10} -transformert konsentrasjon av dioksiner+dl-PCB (på fettvektsbasis) mot $\delta^{15}\text{N}$ for atlantisk kveite fra område 06, 00, 05, 04 og 03 (områdebetegnelser i henhold til Fiskeridirektoratets statistikkområder). Resultater fra enkel lineær regresjon, inkludert ligninger for regresjonslinjene, er oppgitt for hvert område. Ligningene for regresjonslinjene er oppgitt på formen $y = a + (b)x$ der (b) er lik Trophic magnification slope (TMS) for kvikksølv i A) og for dioksiner+dl-PCB i B). n.s. = ikke signifikant korrelasjon.

Område 06 skiller seg altså ut ved at kveite fra dette området ser ut til å ha en høyere biomagnifiseringsrate enn kveite fra andre områder. Det er imidlertid uklart hvilken betydning dette har i forhold til de høyere nivåene av miljøgifter vi finner i kveite fra dette området. Det er vist at biomagnifisering for ulike miljøgifter kan påvirkes av en rekke ulike faktorer utenom nivåene av miljøgifter og deres tilgjengelighet i næringsnettet (bl.a. fiskens alder, størrelse, diett, veksthastighet og metabolisme, eksponeringsvei, breddegrad hvor fisken er fanget) og det er foreløpig ingen generell konsensus med hensyn til hvilke variabler som er viktigst for å forklare variasjoner i TMS-verdier (Borgå m.fl. 2012, Lavoie m.fl. 2013, Won m.fl. 2018). Flere studier viser dessuten at biomagnifiseringsraten avtar når nivåene av

miljøgifter i næringsnettet *øker*, trolig på grunn av økt eliminering av miljøgiftene i organismene (Lavoie m.fl. 2013). Uten data på byttedyr og en bedre forståelse av kveitas næringsnett i de ulike områdene er det derfor vanskelig å konkludere om en høyere TMS-verdi for kveite kan knyttes til høyere nivåer av miljøgifter i kveitenes næringsnett i område 06.

Resultatene i figur 7 viste imidlertid helt klart at kveiter fra område 06 hadde betydelig høyere kvikksølvkonsentrasjon og høyere konsentrasjon av dioksiner og dioksinlignende PCB enn kveiter fra område 00, 05, 04 og 03 helt uavhengig av $\delta^{15}\text{N}$ -nivå. Ved alle verdier av $\delta^{15}\text{N}$ var nivåene av disse miljøgiftene i kveite høyere i område 06 enn i de øvrige områdene (Figur 7A,B). Dette betyr at de høye nivåene av miljøgifter i kveite i område 06 ikke kan forklares ved forskjeller i $\delta^{15}\text{N}$ mellom områdene.

Ved å benytte $\delta^{15}\text{N}$ -nivået som et estimat for trofisk posisjon, tyder disse resultatene på at de høye nivåene av miljøgifter i kveite fra område 06 ikke skyldes at kveite fra område 06 beiter på et høyere nivå i næringskjeden, men derimot at kveiter på samme trofiske nivå har høyere konsentrasjon av både kvikksølv og dioksiner og dioksinlignende PCB i område 06 enn i de andre områdene. Det er imidlertid en svakhet med denne metoden for å bestemme trofisk posisjon at $\delta^{15}\text{N}$ -nivået i kveitene også er avhengig av $\delta^{15}\text{N}$ på bunnen av næringskjeden som kan variere mellom ulike områder. Vi kan derfor ikke fastslå med sikkerhet at kveiter med samme $\delta^{15}\text{N}$ -verdi fra ulike områder befinner seg på samme trofiske nivå.

En mer avansert metode for analyse av stabile nitrogenisotoper, CSIA (compound specific isotope analysis), som er utviklet i løpet av de siste årene kan være en måte å komme rundt dette problemet (Won m.fl. 2018). Metoden baserer seg på analyse av stabile nitrogenisotoper i individuelle aminosyrer, og benytter seg av at noen aminosyrer, kalt trofiske aminosyrer (f.eks. glutaminsyre), viser tydelig økning i $\delta^{15}\text{N}$ med økende trofisk nivå, mens andre aminosyrer, kalt kilde-aminosyrer (f.eks. fenylalanin), viser liten eller ingen økning i $\delta^{15}\text{N}$ oppover i næringskjeden. Ved å måle $\delta^{15}\text{N}$ i en trofisk aminosyre (som viser trofisk anrikning) og en kilde-aminosyre (som har $\delta^{15}\text{N}$ -verdier tilsvarende bunnen av næringskjeden) kan trofisk posisjon for en bestemt organisme bestemmes mer nøyaktig og uavhengig av variasjoner i $\delta^{15}\text{N}$ -verdien på bunnen av næringskjeden (Bowes og Thorpe 2015, Won m.fl. 2018).

4 - Konklusjon

Analyse av stabile isotoper i dette arbeidet viste at på tross av høye nivåer av miljøgifter i kveite fra havområdet i ytre Sklinnadjupet i område 06, var $\delta^{15}\text{N}$ -verdiene i kveiter fra dette området betydelig lavere enn i alle andre områder som ble undersøkt. Sammenligning av kveiter med samme $\delta^{15}\text{N}$ -nivå fra ulike områder viste videre at kveiter fra ytre Sklinnadjupet i område 06 hadde høyere konsentrasjoner av både kvikksølv og dioksiner og dioksinlignende PCB enn kveiter fra andre områder ved alle verdier av $\delta^{15}\text{N}$.

Ved å benytte $\delta^{15}\text{N}$ -nivået som et estimat for trofisk posisjon, tyder disse resultatene på at de høye nivåene av miljøgifter i kveite fra ytre Sklinnadjupet i område 06 ikke skyldes at kveite fra område 06 beiter på et høyere nivå i næringskjeden, men derimot at kveiter på samme trofiske nivå har høyere konsentrasjon av både kvikksølv og dioksiner og dioksinlignende PCB i område 06 enn i andre undersøkte områder.

En svakhet med denne metoden for å bestemme trofisk posisjon er at $\delta^{15}\text{N}$ -nivået i kveitene også er avhengig av $\delta^{15}\text{N}$ på bunnen av næringskjeden som kan variere mellom ulike områder. For å kunne bestemme kveitenes trofiske posisjon entydig trengs derfor mer kunnskap om $\delta^{15}\text{N}$ -nivået i organismer på lavere nivåer i næringskjeden i det stengte området og områdene rundt. Alternativt kan det være mulig å benytte en ny metode med analyse av stabile nitrogenisotoper i individuelle aminosyrer (AA-CSIA) som gjør det mulig å bestemme trofisk posisjon for en bestemt organisme mer nøyaktig og uavhengig av variasjoner i $\delta^{15}\text{N}$ -verdien på bunnen av næringskjeden.

Selv om manglende informasjon om nivået av $\delta^{15}\text{N}$ på bunnen av næringskjeden gjør det vanskelig å trekke en helt entydig konklusjon, kan resultatene i denne undersøkelsen tyde på at de høye nivåene av miljøgifter i kveite fra område 06 ikke er forårsaket av at kveite fra dette området befinner seg høyere i næringskjeden enn kveite fra andre områder. Siden de høye nivåene av miljøgifter i kveite heller ikke kan forklares ved at kveitene fra dette området er større eller eldre enn kveite fra de andre områdene som ble undersøkt, er det sannsynlig at det er andre faktorer enn naturlige biologiske faktorer som fører til høyere nivåer av miljøgifter i kveite fra ytre Sklinnadjupet.

5 - Referanser

- Borgå, K., Kidd, K.A., Muir, D.C.G., Berglund, O., Conder, J.M., Gobas, F.A.P.C., Kucklick, J., Malm, O., Powell, D.E. (2012). Trophic Magnification Factors: Considerations of ecology, ecosystems, and study design. *Integr. Environ. Assess. Manag.* 8, 64-84.
- Bowes, R.E. og Thorp, J.H. (2015). Consequences of employing amino acid vs. bulk-tissue, stable isotope analysis: a laboratory trophic position experiment. *Ecosphere*, 6(1):14.
- Hobson, K.A., Fisk, A., Karnovsky, N., Holst, M., Gagnon, J.M., Fortier, M. (2002). A stable isotope ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) model for the North Water food web: implications for evaluating trophodynamics and the flow of energy and contaminants. *Deep Sea Res. II* 49, 5131–5150.
- Hoekstra, P.F., O'Hara, T.M., Fisk, A.T., Borgå, K., Solomon, K.R., Muir, D.C.G. (2003). Trophic transfer of persistent organochlorine contaminants (OCs) within an Arctic marine food web from the Southern Beaufort – Chukchi Seas. *Environ. Pollut.* 124, 509–522.
- Lavoie, R.A., Jardine, T.D., Chumchal, M.M., Kidd, K.A., Campbell, L.M. (2013). Biomagnification of Mercury in Aquatic Food Webs: A Worldwide Meta-Analysis. *Environ. Sci. Technol.* 47, 13385-13394.
- Nilsen, B.M., Kjell Nedreaas og Måge, A. (2016). Kartlegging av fremmedstoffer i Atlantisk kveite (*Hippoglossus hippoglossus*). Sluttrapport for programmet «Miljøgifter i fisk og fiskevarer» 2013-2015. Rapport til Mattilsynet (ISBN: 978-82-91065-43-4), 81 sider. <https://nifes.hi.no/report/atlantisk-kveite-sluttrapport/>
- Nortvedt, R. og Tuene, S. (1998). Body composition and sensory assessment of three weight groups of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) fed three pellet sizes and three dietary fat levels. *Aquaculture* 161, 295-313.
- Post, D.M. (2002). Using stable isotopes to estimate trophic position: Models, method, and assumptions. *Ecology*, 83 (3), 703-718.
- Won, E.-J., Choi, B., Hong, S., Khim, J.S. og Shi, K.-H. (2018). Importance of accurate trophic level determination by nitrogen isotope of amino acids for trophic magnification studies: A review. *Environ. Pollut.* 238, 677-690.

6 - Vedlegg

Vedlegg 1:

[Analyserapport fra Institutt for energiteknikk: «Data Report Isotope Analysis \(IFE REF: 2017-176\)»](#)



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

Postboks 1870 Nordnes
5817 Bergen
E-post: post@hi.no
www.hi.no