

# Adaptasjon hos fisk eksponert for surt Al-rikt vann

Av Antonio B.S. Poléo, Joachim Schjolden og Sigurd Hytterød

Antonio Poléo er forsker ved Universitetet i Oslo, Biologisk institutt,  
Joachim Schjolden er ansatt hos Statkraft Grøner AS,  
Sigurd Hytterød er hovedfagsstudent ved Universitetet i Oslo, Biologisk institutt

Innlegg på svensk-norsk kalkingseminar i Stavanger 2001

## Bakgrunn

Det er godt dokumentert at laksefisk adapteres til surt Al-holdig vann (se Gensemer & Playle 1999). De første resultatene som indikerer dette er rapportert i Rosseland & Skogheim (1984). Den øvrige dokumentasjonen omfatter studier med lave konsentrasjoner av aluminium, og studiene er utelukkende gjort på regnbueørret (*Oncorhynchus mykiss*) og bekkerøye (*Salvelinus fontinalis*) (Orr et al. 1986, McDonald & Milligan 1988, Wood et al. 1988a, b, Mount et al. 1990, McDonald et al. 1991, Mueller et al. 1991, Reid et al. 1991, Wilson & Wood 1992, Wilson et al. 1994a, b, 1996, Allin & Wilson 1999).

Det har blitt trukket frem studier som sier at adaptasjon ikke alltid finner sted. Disse studiene er imidlertid gjort i vann ved meget lav pH (4,0-4,8) og uten innhold av aluminium (Saunders et al. 1983, Audet & Wood 1993). De har derfor liten eller ingen relevans for diskusjonen om fisk adapteres til surt Al-holdig vann eller

ikke. Selv om skader og skadeforløp hos fisk eksponert for surt Al-fattig vann og surt Al-rikt vann har enkelte likhetstrekk, er det mange fundamentale forskjeller som gjør at eventuelle adaptasjonsprosesser også kan være forskjellige (McDonald & Milligan 1988).

Mekanismen for adaptasjon hos laksefisk til surt Al-holdig vann er lite kjent (Gensemer & Playle 1999). Det har blitt foreslått at øket Na<sup>+</sup>-transportaktivitet og redusert bindingsaffinitet for aluminium er deler av mekanismen for adaptasjonen (Wood et al. 1988a, McDonald & Milligan 1988, McDonald et al. 1991, Mueller et al. 1991, Reid et al. 1991).

## Hvorfor er adaptasjon til aluminium hos fisk interessant?

Svaret på dette er sammensatt. Vi har en generell bedring i forurensingssituasjonen i Norge. En del vassdrag, særlig på Vestlandet har vært moderat til marginalt forsuret sammenlignet med lakseelvene på Sørlandet. I flere av vassdragene på Vestlandet har laksebestanden gått tilbake. I noen av

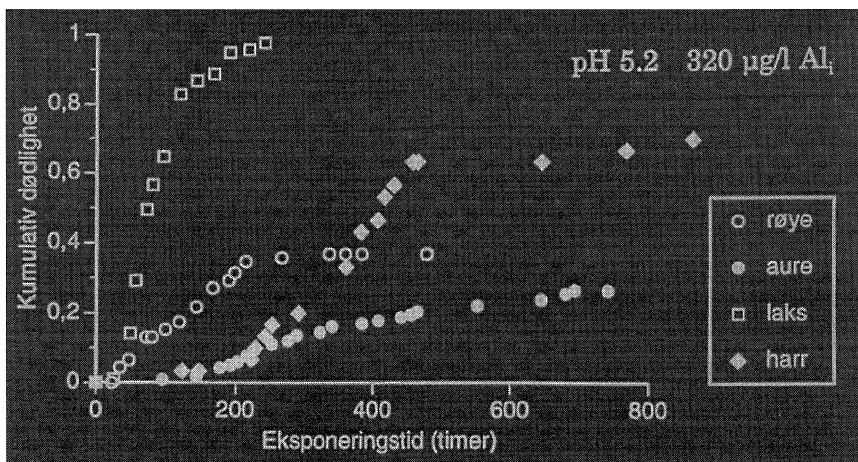
disse vassdragene har denne tilbakegangen kommet først i de senere årene. Forsuring er bare en av flere mulige forklaringer på tilbakegangen i laksebestandene. Likevel har det blitt satt i gang kalking av slike vassdrag. Denne kalkingen kan forsvares ut fra det såkalte "føre-var" prinsippet. Det er imidlertid også viktig å vektlegge mulige negative konsekvenser av kalking så vel som frykten for konsekvensene av å ikke sette i gang tiltaket. Et problem er at svært få studier har undersøkt om kalking kan ha negative effekter på fisk. Dette kan skyldes at søkelyset har vært rettet ensidig mot kalking og tiltak for å redde fiskebestandene i sure og forsurete vassdrag. Vi har de senere årene gjort flere studier hvor resultatene har fått oss til å reise spørsmålet om det kan være sider ved kalking som er negative for fisk. Dette kommer vi inn på ved å se nærmere på fiskens evne til å adaptere.

La oss begynne med det faktum at

det finnes omfattende dokumentasjon på at regnbueørret og bekkerøye adapteres til surt Al-holdig vann. Vi har i den forbindelse stilt oss følgende to spørsmål: Har andre laksefiskarter også evnen til å adaptere til surt Al-holdig vann? Kan noen av disse artene adaptere til kraftige Al-belastninger (surt Al-rikt vann)?

## Røye (*Salvelinus alpinus*) og harr (*Thymallus thymallus*)

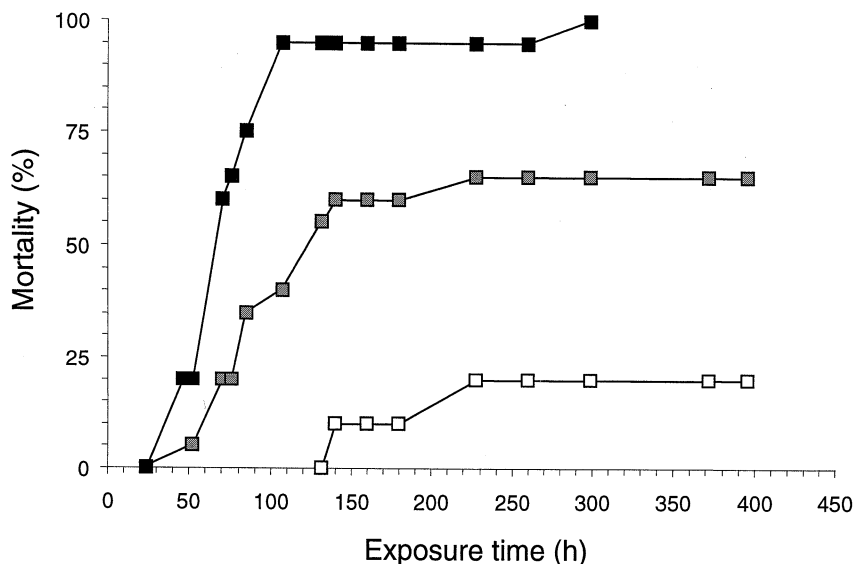
Figur 1 viser akkumulert dødelighet hos fire av våre vanligste laksefiskarter under en kraftig Al-belastning (Poléo et al. 1997). Etter en initiell periode med dødelighet sluttet både røye og harr å dø under forsøket. Dette indikerer at disse to artene kan ha evne til å adaptere til surt Al-holdig vann, og at dette kan finne sted under eksponeringer for høye konsentrasjoner av giftig aluminium (320 µg Al/liter).



Figur 1. Kumulativ dødelighet av røye, ørret (*Salmo trutta*), laks (*Salmo salar*) og harr eksponert for 320 µg Al/liter ved pH 5,2 (etter Poléo et al. 1997).

I et senere studium med røye eksponert for aluminium ble det også observert at dødeligheten kan opphøre under selve eksponeringen (Figur 2). Poléo & Bjerkely (2000) fant at dødelighet hos røye var direkte korrelert med graden av Al-polymerisering når

fisken ble eksponert for 450 µg Al<sub>tot</sub>/liter ved pH 5,8. Ved høy grad av Al-polymerisering var det ingen tegn til at dødeligheten opphørte, men ved lavere grad av polymerisering var det en initiell dødelighet som opphørte utover i eksponeringen (Figur 2).



Figur 2. Kumulativ dødelighet av røye eksponert for 450 µg Al<sub>tot</sub>/liter ved pH 5,8 under ustabile kjemiske betingelser: kort oppholdstid = omfattende Al-polymerisering (sorte symboler), moderat oppholdstid = intermediær Al-polymerisering (skraverte symboler), og lang oppholdstid = lite Al-polymerisering (hvite symboler). Fra Poléo & Bjerkely (2000).

## Konklusjon røye og harr

Røye og harr viser tegn til adaptasjon. Resultatene dokumenterer at adaptasjonen skjer under selve Al-eksponeringen, og at den finner sted selv under kraftige Al-belastninger.

## Mekanismen for adaptasjon

Som nevnt er øket Na<sup>+</sup>-transportaktivitet og redusert bindingsaffinitet

for aluminium foreslått å være deler av mekanismen for adaptasjon til surt Al-holdig vann hos fisk (Wood et al. 1988a, McDonald et al. 1991, Mueller et al. 1991, Reid et al. 1991, Gensemer og Playle 1999). Vi har i den forbindelse stilt oss følgende spørsmål: Kan vi si noe mer om mekanismen for adaptasjonen til surt Al-holdig vann hos laksefisk?

Etter en initiell økning i mengden aluminium som var akkumulert på

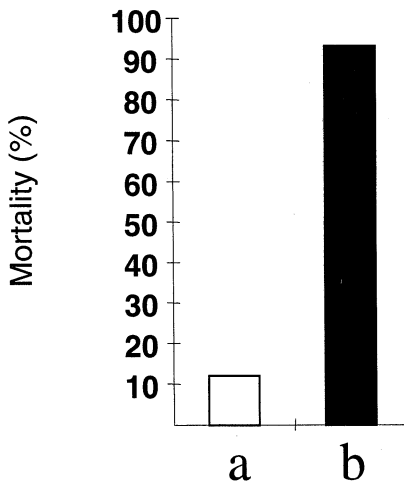
gjellene hos Al-eksponert røye, observerte Poléo & Bjerkely (2000) at mengden aluminium avtok. Dette kan være en indikasjon på at affiniteten for aluminium kan reduseres hos Al-eksponert røye, men reduksjonen kan også skyldes at fisken aktivt klarer å kvitte seg med bundet aluminium. I likhet med reduksjonen av aluminium akkumulert på gjellene ble det observert at fysiologiske responser viste tegn til å avta hos Al-eksponert røye (Poléo & Bjerkely 2000). Det kan diskuteres om disse resultatene gir støtte for en øket Na<sup>+</sup>-transportaktivitet i gjellene hos røye.

Poléo & Bjerkely (2000) viser ikke noe nytt når det gjelder mekanismen for adaptasjon til surt Al-holdig vann hos fisk, men resultatene samsvarer med tidligere observasjoner.

### Laks (*Salmo salar*)

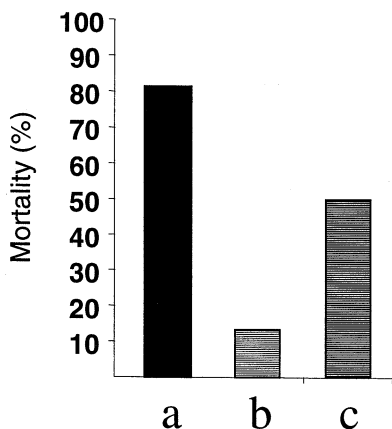
Vi har konkludert med at røye og harr viser tegn til adaptasjon til aluminium. Vi vet samtidig at laks er blant de mest følsomme ferskvannsorganismene for aluminium, og betydelig mer følsom enn røye og harr (Poléo et al. 1997). Det neste spørsmålet vi har stilt oss er derfor: Kan også laks adaptere til surt Al-rikt vann?

Figur 3 viser resultater fra et forsøk hvor laksesmolt har blitt eksponert for sjøvann. Smolt som hadde vært pre-eksponert i 2 måneder for surt Al-holdig vann (pH 5,1-5,9 og 10-40 µg Al<sub>i</sub>/liter) hadde betydelig høyere overlevelse under sjøvannstesten enn smolt pre-eksponert i 2 måneder for nøytralt Al-fattig vann (pH 6,9-7,2 og 0-10 µg Al<sub>i</sub>/liter).



Figur 3. Dødelighet hos laks (smolt) eksponert i 24 timer for sjøvann (salinitet 31,2 ppm). a) pre-eksponert for surt Al-holdig vann (2 mndr i fluktuerende pH 5,1-5,9 og Al<sub>i</sub>-konsentrasjon 10-40 µg/liter) og b) pre-eksponert for nøytralt Al-fattig vann (2 mndr i stabil pH 6,9-7,2 og Al<sub>i</sub>-konsentrasjon 0-10 µg/liter).

Figur 4 viser resultater fra et annet forsøk hvor laksesmolt har blitt eksponert for sjøvann. Smolt pre-eksponert i 2 måneder for nøytralt Al-fattig vann (pH 6,9-7,2 og 0-10 µg Al<sub>i</sub>/liter) hadde like lav overlevelse som i forsøket hvor resultatene i Figur 3 er hentet fra. Smolt eksponert for en kraftig Al-puls (50 µg Al<sub>i</sub>/liter) 3 uker før sjøvannstesten viste den høyeste overlevelsen. Dette samsvarte bra med overlevelsen til smolt pre-eksponert for en svak men mer kronisk Al-belastning (Figur 3). Smolt pre-eksponert for svakt surt vann med en relativt lav konsentrasjon av aluminium (pH 6,1-6,8 og 0-20 µg Al<sub>i</sub>/liter) viste en intermedier overlevelse sammenlignet med de to andre pre-eksponeringsgruppene (Figur 4).



Figur 4. Dødelighet hos laks (smolt) eksponert i 24 timer for sjøvann (salinitet 31,2 ppm). a) pre-eksponert for nøytralt Al-fattig vann (2 mndr i stabil pH 6,9-7,2 og Al<sub>T</sub>-konsentrasjon 0-10 µg/liter), b) pre-eksponert for sur Al-puls (3 dager i 50 µg Al/liter ved pH 5,8 + 3 uker restituering i rent vann), og c) pre-eksponert for svakt surt Al-holdig vann (2 mndr i pH 6,1-6,8 og Al<sub>T</sub>-konsentrasjon 0-20 µg/liter).

Disse resultatene indikerer at pre-eksponering for aluminium kan ha gitt fisken en øket evne til å tåle sjøvann sammenlignet med fisk pre-eksponert for nøytralt Al-fattig vann. Resultatene viser faktisk at det er et tilnærmet lineært forhold mellom Al-belastningen under pre-eksponeringen og evnen til å tåle sjøvann (overlevelse) (Figur 3 og 4). Om dette involverer en øket Na<sup>+</sup>-transportaktivitet i gjellene som følge av Al-eksponeringen blir foreløpig kun en spekulasjon. Likevel kan det godt tenkes at fisken har adaptert til aluminium under pre-eksponeringen for surt Al-holdig vann, og at dette har virket positivt også på evnen til å tåle sjøvann. Wilson et al. (1994a) rapporterer imidlertid at akklimering til

aluminium synes å være relativt spesifikt for aluminium. Dette begrunner de med at Al-akklimert regnbueørret ikke viser noen øket toleranse for kobber (Wilson et al. 1994a). Det gjenstår derfor å avklare om øket sjøvannstoleranse hos fisk pre-eksponert for surt Al-holdig vann kan ses direkte i sammenheng med adaptasjon til aluminium.

## Konklusjon laks

Aluminium synes å kunne gjøre laks mindre følsom for endringer i salinitet. Dette kan bety at laks, i likhet med andre laksefisker, har evne til å adaptere til aluminium.

## Avslutning

Laksefisk generelt kan adaptere til surt Al-rikt vann. Øket ionetransportaktivitet og redusert bindingsaffinitet for aluminium i gjellene synes å være en del av mekanismen for adaptasjonen til surt Al-rikt vann. Øket toleranse for endringer i salinitet hos laks kan muligens forårsakes av en Al-indusert økning i ionetransportaktiviteten.

Resultatene sett under ett indikerer at det er sider ved kalking som kan være negativt for fisk. Kalking kan for eksempel redusere muligheten for fisk i et naturlig surt eller moderat/marginalt forsuret vassdrag til å adaptere til sine omgivelser - en adaptasjon som gjør den bedre i stand til å takle endringer i miljøet. Wood et al. (1988b) og Mount et al. (1988) tar begge til orde for at fisk som eksponeres kronisk for lave nivåer av aluminium i svakt sure vassdrag kan ha øket resistanse mot sure episoder.

Vi har sett at det er et tilsynelatende lineært forhold mellom aluminium i vannet og laksesmoltens sjøvannstoleranse. Det kan derfor også tenkes at kalking direkte kan hemme en mulig Al-indusert sjøvannstoleranseutvikling hos laksesmolt. På den annen side er det godt dokumentert at aluminium i seg selv hemmer sjøvannstoleransen hos laksesmolt. Vi står her overfor et paradoks som krever en nøye avveining mellom positive effekter av kalking og negative effekter av kalking. Dette blir spesielt viktig i vassdrag hvor sammenhengen mellom fiskestatus og forsuring er uklar. "Føre-var" prinsippet tilsier at mulige negative konsekvenser av kalking må vektlegges så vel som mulige negative effekter av surt Al-holdig vann.

## Referanser

- Allin, C.J. & Wilson, R.W. (1999). Behavioural and metabolic effects of chronic exposure to sublethal aluminum in acidic soft water in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 56, 670-678.
- Audet, C. & Wood, C.M. (1993). Branchial morphological and endocrine responses of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) to a long-term sublethal acid exposure in which acclimation did not occur. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 50, 198-209.
- Gensemer, R.W. & Playle, R.C. (1999). The bioavailability and toxicity of aluminum in aquatic environments. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 29, 315-450.
- McDonald, D.G. & Milligan, C.L. (1988). Sodium transport in the brook trout, *Salvelinus fontinalis*: effects of prolonged low pH exposure in the presence and absence of aluminum. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45, 1606-1613.
- McDonald, D.G., Wood, C.M., Rhem, R.G., Mueller, M.E., Mount, D.R. & Bergman, H.L. (1991). Nature and time course of acclimation to aluminum in juvenile brook trout (*Salvelinus fontinalis*). I. Physiology. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48, 2006-2015.
- Mount, D.R., Swanson, M.J., Breck, J.E., Farag, A.M. & Bergman, H.L. (1990). Responses of brook trout (*Salvelinus fontinalis*) fry to fluctuating acid, aluminum, and low calcium exposure. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 47, 1623-1630.
- Mueller, M.E., Sanchez, D.A., Bergman, H.L., McDonald, D.G., Rhem, R.G. & Wood, C.M. (1991). Nature and time course of acclimation to aluminum in juvenile brook trout (*Salvelinus fontinalis*). II. Gill histology. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48, 2016-2027.
- Orr, P.L., Bradley, R.W., Sprague, J.B. & Hutchinson, N.J. (1986). Acclimation-induced change in toxicity of aluminum to rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43, 243-246.
- Poléo, A.B.S. & Bjerkely, F. (2000). The effect of unstable aluminium chemistry on Arctic char (*Salvelinus alpinus*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 57, 1423-1433.
- Poléo, A.B.S., Østbye, K., Øxnevad, S.A., Andersen, R.A., Heibo, E. & Vøllestad, L.A. (1997). Toxicity of acid aluminium-rich water to seven

- freshwater fish species: a comparative laboratory study. *Environ. Pollut.*, 96, 129-139.
- Reid, S.D., McDonald, D.G. & Rhem, R.R. (1991). Acclimation to sublethal aluminum: modifications of metal – gill surface interactions of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48, 1996-2005.
- Rosseland, B.O. & Skogheim, O.K. (1984). A comparative study on salmonid fish species in acid aluminium-rich water. II. physiological stress and mortality of one- and two-year-old fish. *Inst. Freshw. Res. Drottningholm*, 61, 186-194.
- Saunders, R.L., Henderson, E.B., Harmon, P.R., Johnston, C.E. & Eales, J.G. (1983). Effects of low environmental pH on smolting of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40, 1203-1211.
- Wilson, R.W. & Wood, C.M. (1992). Swimming performance, whole body ions, and gill Al accumulation during acclimation to sublethal aluminium in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish Physiol. Biochem.* 10, 149-159.
- Wilson, R.W., Bergman, H.L. & Wood, C.M. (1994a). Metabolic costs and physiological consequences of acclimation to aluminum in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). 1: acclimation specificity, resting physiology, feeding, and growth. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 51, 527-535.
- Wilson, R.W., Bergman, H.L. & Wood, C.M. (1994b). Metabolic costs and physiological consequences of acclimation to aluminum in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). 2: gill morphology, swimming performance, and aerobic scope. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 51, 536-544.
- Wilson, R.W., Wood, C.M. & Houlihan, D.F. (1996). Growth and protein turnover during acclimation to acid and aluminum in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53, 802-811.
- Wood, C.M., Simons, B.P., Mount, D.R. & Bergman, H.L. (1988a). Physiological evidence of acclimation to acid/aluminum stress in adult brook trout (*Salvelinus fontinalis*). 2. Blood parameters by cannulation. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45, 1597-1605.
- Wood, C.M., McDonald, D.G., Booth, C.E., Simons, B.P., Ingersoll, C.G. & Bergman, H.L. (1988b). Physiological evidence of acclimation to acid/aluminum stress in adult brook trout (*Salvelinus fontinalis*). 1. blood composition and net sodium fluxes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45, 1587-1596.