

Intense Habitat-specific Fisheries-induced Selection at the *Pan I* Locus Predicts Imminent Collapse of a Major Cod Fishery

Einar Árnason^{1,*}

¹Institute of Biology, University of Iceland, Reykjavik, Iceland

*einararn@hi.is

Abstract: Predation is a powerful agent in the ecology and evolution of predator and prey. Prey may select multiple habitats whereby different genotypes prefer different habitats. If the predator is also habitat-specific the prey may evolve a different habitat occupancy. Drastic changes can occur in the relation of the predator to the evolved prey. Fisheries exert powerful predation and can be a potent evolutionary force. Fisheries-induced selection can lead to phenotypic changes that influence the collapse and recovery of the fishery. However, heritabilities of the phenotypic traits involved and selection intensities are low suggesting that fisheries-induced evolution occurs at moderate rates at decadal time scales. The *Pan I* locus in Atlantic cod (*Gadus morhua*), an ancient balanced polymorphism predating the split of cod and its sister species, is under an unusual mix of balancing and directional selection including selective sweeps. Here we show that *Pan I* alleles are highly correlated with depth with a gradient of 0.44% allele frequency change per meter. *AA* fish are shallow-water and *BB* deep-water adapted in accordance with behavioral studies using data storage tags showing habitat selection by *Pan I* genotype. *AB* are somewhat intermediate. Furthermore, using a sampling design covering space and time we detect intense habitat-specific fisheries-induced selection against the shallow-water adapted fish with an average 8% allele frequency change per year within year class. Genotypic fitness estimates (0.08, 0.27, 1.00 of *AA*, *AB*, and *BB* respectively) predict rapid disappearance of shallow-water adapted fish. We hypothesize a consequent collapse of the fishery. Ecological and evolutionary time scales, therefore, are congruent. Probabilistic maturation reaction norms for Atlantic cod at Iceland show declining quantiles of length and age at maturing similar to changes preceding collapse of northern cod at Newfoundland, further supporting the hypothesis. We speculate that immediate establishment of large no-take reserves may help avert collapse.

Sterkt val á *Pan I* geninu vegna búsvæðis-sérhæfs atferlis og fiskveiða spáir yfirvofandi hrúni þorskfiskirís

Ágrip: Afrán er sterkt afl í vistfræði og þróun rándýrs og bráðar. Bráð kann að velja sér margvísleg búsvæði á þann hátt að mismunandi arfgerðir velji sér mismunandi búsvæði. Ef rándýrið er einnig sérhæft til að veiða í ákveðnu búsvæði kann bráðin bregðast við með því að velja sér nýtt og frábrugðið búsvæði. Harkalegar breytingar kunna að verða á tengslum rándýrs og bráðar. Fiskveiðar eru mikilvirkt afrán og geta verið máttugur þróunarkraftur. Val vegna fiskveiða getur leitt til breytinga á svipgerðum sem hafa áhrif á hrún og afturbata fiskirís. Hinsvegar er bæði valstyrkurinn sem og arfgengi svipfarseiginleika sem um ræðir lagt og hefur það verið tekið til marks um að þróunarbreytingar vegna fiskveiða séu hægfara og gerist

á tímaskala mældum í áratugum. Pantophysin I (*Pan I*) genið hjá þorski, *Gadus morhua*, sýnir erfðafjölbreytni undir óvenjulegri blöndu jafnvægisvals og stefnubundins vals ásamt valsópun. Hér sýnum við háa fylgni í tíðni *Pan I* samsæta við dýpi. Tíðnin breytist um 0,44% per metra. *AA* fiskar eru aðlagðir að grunnsævi og *BB* fiskar að djúpsævi og er það í samræmi við rannsóknir á atferli með rafeindamerkjum sem sýna búsvæðaval eftir *Pan I* arfgerð. *AB* fiskar eru á milli en þó nær *AA* fiskum. Með högun sýnatöku sem tekur mið af breytingum í tíma og rúmi nemum við ennfremur ákaft búsvæðis-sérhæft val gegn fiski lönguðum að grunnsævi. Að meðaltali breytist tíðni samsætu 8% á ári innan árgangs. Byggt á hlutfallslegum lífslíkum arfgerða (0,08, 0,27 og 1,00 fyrir *AA*, *AB*, og *BB* arfgerðir) er spáð hröðu brotthvarfi fisks aðlönguðum að grunnsævi. Tímaskalar vistfræði- og þróunarbreytinga eru því samsvarandi. Við setjum fram tilgátu um mögulegt hrun fiskirís. Við finnum að líkindasvörunarföll fyrir þorsk við Ísland sýna lækkun lengdar og aldurs við kynþroska. Breytingarnar eru sambærilegar við þær sem urðu skömmu áður en norðurþorskur við Nýfundnaland hrundi og styður það tilgátuna ennfremur. Við getum okkur þess til að ef þegar í stað væru sett upp stór alfriðuð svæði kynni það að hjálpa til við að forða hruni.