

Title

Environment and early life stages in fish: developmental plasticity responds to seawater changes in oxygen and temperature

Abstract

In the context of global change, decrease in oxygen availability (hypoxia) combined with rising water temperature are increasing in frequency and severity in aquatic ecosystems. These environmental constraints are especially prevalent in estuarine and coastal regions, towards which marine fish larvae may drift at the end of their development due to tidal currents. It is well admitted that the physiological regulations implemented by organisms to cope with their environment during the early life stages of life can cause profound consequences in their subsequent life-history trajectory (developmental plasticity). While the immediate effects of thermal and oxygenation conditions have been well investigated in marine fish larvae, the long term implications of early and simultaneous exposure to these two abiotic constraints in an ecological context are poorly documented.

Therefore, the main objective of this thesis was to investigate whether ecologically relevant conditions of oxygenation (40% and 100% air saturation) combined with thermal conditions (15 and 20 °C), occurring at the last stages of larval development of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae, could have long-lasting impacts on juvenile physiology. In particular, the originality of this work was to determine whether this early environment may lead to fish phenotypes, able to better cope with these constraints at later life stages. In order to answer this question, juvenile fish were exposed to the same environmental conditions that they have experienced at larval stage. Afterward, growth and parameters of physiological processes related to the oxygen extraction, transport and utilization were analyzed. Our data showed that growth depression resulting from low temperature and hypoxic conditions at larval stage induced a subsequent compensatory growth. We also noted that a hypoxia event experienced during early-life history did not confer any benefit to sea bass juveniles in terms of growth when they were subsequently exposed to hypoxia. Moreover, our analyses of hepatic glycogen and lipid stores revealed that metabolic features of juvenile could be affected by early exposure to oxygen and temperature conditions. Furthermore, our data based on hypoxic challenges reveal that oxygen extraction capacity was affected in a small number of juveniles due to opercular deformities caused by early exposure to hypoxia. Finally, we found an impact of larval exposure to hypoxia on oxygen transport capacity at juvenile stage. In fact, when these juveniles, that have been exposed to hypoxia at larval stage, were under chronic hypoxic condition they show a long-term up-regulation of hemoglobin genes in the head kidney. Interestingly, the stimulation of Hb genes in hypoxic condition was associated with the up-regulation of *phd-3* expression that may reflect higher hypoxia sensitivity in juveniles that experienced hypoxia at the larval stage.

Overall, the data obtained through this thesis reported that exposure to hypoxic and thermal constraints at larval stage may induce developmental plasticity on phenotypical traits that may influence physiological traits of European sea bass at subsequent life stages. These findings contribute to make predictions of how the marine fish communities could be altered by current climate change.

Key words

Hypoxia, Ocean warming, Physiology, European sea bass, Developmental plasticity

Titre

Environnement et jeunes stades de vie chez le poisson: la plasticité développementale comme réponse aux contraintes hypoxiques et thermiques

Résumé

Dans le contexte du changement global, la diminution de la disponibilité en oxygène (hypoxie) dans l'eau combinée à la hausse de la température sont deux phénomènes dont la fréquence et la gravité augmentent dans les écosystèmes aquatiques. Ces contraintes environnementales sont particulièrement présentes dans les eaux estuariennes et côtières vers lesquelles les larves de poissons marins peuvent dériver à la fin de leur développement. Il est admis que les régulations physiologiques mises en œuvre par les organismes pour faire face à leur environnement au cours des premières étapes de leur vie peuvent avoir des conséquences sur leur trajectoire de vie ultérieure (concept de plasticité développementale). Alors que les effets immédiats des conditions thermiques et d'oxygénation ont été bien étudiés chez les larves de poissons marins, les conséquences à long terme de l'exposition précoce et simultanée à ces deux facteurs abiotiques sont encore mal documentées.

Ainsi, l'objectif principal de cette thèse était d'évaluer si des conditions d'oxygénation (40% et 100% de saturation) combinées à des conditions thermiques (15 et 20 °C) au stade larvaire, pertinentes sur le plan écologique, pouvaient avoir des impacts durables sur la physiologie des futurs juvéniles de bar (*Dicentrarchus labrax*). En particulier, l'originalité de ce travail visait à déterminer si ces conditions environnementales précoces pouvaient induire le développement de phénotypes, capables de mieux faire face à ces conditions à des stades de vie ultérieurs. Afin de répondre à cette problématique, la croissance et des paramètres physiologiques liés à l'extraction, au transport et à l'utilisation de l'oxygène ont été analysés chez des juvéniles dans les mêmes conditions environnementales expérimentées au stade larvaire. Nos résultats ont révélé que les retards de croissance associés à la plus basse température (15°C) et à l'hypoxie (40% de saturation) au stade larvaire induisent une croissance compensatrice au stade juvénile. Nous avons également montré que l'épisode d'hypoxie subi au stade larvaire ne conférait aucun avantage aux juvéniles de bar en terme de croissance lorsque ces derniers étaient ultérieurement exposés à cette même contrainte. De plus, les analyses des réserves hépatiques en glycogène et en lipides ont révélé que les caractéristiques métaboliques des poissons pouvaient être affectées par les conditions d'oxygénation et de température au stade larvaire sans qu'on puisse pour autant y associer un effet bénéfique en terme d'adaptation. Par ailleurs, nos données issues de challenges hypoxiques indiquent que la capacité d'extraction de l'oxygène a été affectée chez des juvéniles en raison de déformations operculaires causées par l'exposition précoce à l'hypoxie. Enfin, nos résultats ont montré que l'exposition précoce à l'hypoxie induit une sur-expression à long terme de certains gènes de l'hémoglobine dans le rein antérieur de juvéniles replacés en situation d'hypoxie. Fait intéressant, cette stimulation des gènes hémoglobine était associée à une régulation positive de l'expression du gène *phd-3* qui pourrait refléter une plus grande sensibilité à l'hypoxie chez les juvéniles qui ont été préalablement exposés à cette contrainte au stade larvaire.

Globalement, les résultats obtenus au cours de cette thèse révèlent que les conditions d'oxygénation et de température auxquelles sont exposées les larves de bar Européen induisent une plasticité développementale pouvant influencer les caractéristiques physiologiques des poissons aux stades ultérieurs. Les informations générées par ce travail contribuent à faire avancer les connaissances sur la façon dont les communautés de poissons marins font face aux changements climatiques actuels.

Mots clés

Hypoxie, Réchauffement des océans, Physiologie, Bar Européen, Plasticité développementale