ETH zürich

ETH Library

Biochemical and metabolic effects on hydrogen isotope composition of organic compounds in plants

Doctoral Thesis

Author(s):
Cormier, Marc-André

Publication date:
2017

Permanent link:
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-b-000217924

Rights / license:
In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

This page was generated automatically upon download from the ETH Zurich Research Collection.
For more information, please consult the Terms of use.

DISS. ETH NO. 24337

BIOCHEMICAL AND METABOLIC EFFECTS ON HYDROGEN ISOTOPE COMPOSITION OF ORGANIC COMPOUNDS IN PLANTS

A thesis submitted to attain the degree of

DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH

(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

MARC-ANDRÉ FRANCIS CORMIER

M.Sc. oceanography, ISMER/UQAR

born on *29.05.1986*

citizen of Canada

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Timothy I. Eglinton

Prof. Dr. Ansgar Kahmen

Dr. Roland A. Werner

Prof. Dr. Alex L. Sessions

2017

Summary

Despite a large unexplained variability in the values, the analysis of the hydrogen (H) isotope composition (δ^2H) of plant organic compounds is confidently applied to assess ecohydrological processes in the environment. This is possible because most studies that use the stable H isotopes from plant-derived biomarkers consider the H isotope fractionation that occurs during the biosynthesis of any given compound (^{2}H-ε_{bio}) to be constant within a species. Consequently, δ^2H values in plant organic compounds are assumed to be mainly driven by the plant's source water δ^2H values and the leaf water evaporative ^{2}H-enrichment. There are, however, several indications that ^{2}H-ε_{bio} of plant organic compounds can vary and that the δ^2H values are also related to the plant's metabolism. In this thesis, the elucidate the puzzling variability in the δ^2H values of plant organic compounds, the influence of the plant's metabolism on the variability of ^{2}H-ε_{bio} is specifically explored with regards to the possible biochemical mechanisms underlying this variability.

In a first study, based on empirical data produced in two separate experiments, it is shown that the ^{2}H-ε_{bio} of different compounds in plants is tightly coupled to a plant's carbon and energy metabolism. Based on these data, we develop a conceptual biochemical model that explains how and where ^{2}H-fractionation occurs in the biosynthesis of major plant organic compound classes such as carbohydrates and lipids and what the isotope fractionation processes are that introduce a metabolic signal in δ^2H values to these compounds.

In a second study, with δ^2H analyses from heterotrophic plants, it is shown that the hydrogen isotope fractionation occurring during the biosynthesis of different organic compounds in plants can explain part of the variability observed in δ^2H values across species. Metabolic effects on δ^2H values between heterotrophic plants and their autotrophic host plants differed for different compound classes. The remarkable consistency of the compound

specific isotope effects between autotrophic host or reference plants and the heterotrophic parasitic or mycoheterotrophic plants points towards a general physiological mechanism that determines these effects and support the model developed in the first study.

Finally, with this model, it is mechanistically illustrated that information recorded in the δ^{2}H values of plant organic compounds goes beyond hydrological signals, but also contains important information on the carbon and energy metabolism of a plant. As such we provide the mechanistic basis to introduce hydrogen isotopes in plant organic compounds as new metabolic proxy for the carbon and energy metabolism of plants. Such a new metabolic proxy has the potential to be applied in a broad range of disciplines, including plant and ecosystem physiology, plant breeding, biogeochemistry, paleoecology and Earth system sciences.

Résumé

Malgré une grande variabilité inexpliquée dans leurs valeurs, l'analyse de la composition isotopique de l'hydrogène ($\delta^{2}H$) dans les composés organiques végétaux est appliquée avec crédibilité pour évaluer les processus (éco-)hydrologiques dans l'environnement. Ceci est possible car la plupart des études qui utilisent les isotopes stables de l'hydrogène dans les biomarqueurs dérivés des plantes considèrent le fractionnement des isotopes de l'hydrogène qui se produit pendant la biosynthèse d'un composé donné (^{2}H-ε_{bio}) comme étant constant pour une espèce de plante donnée. Par conséquent, les valeurs de deutérium (^{2}H) dans les composés organiques végétaux sont supposées être principalement influencées par les valeurs de l'eau de source de la plante et par l'enrichissement en ^{2}H par évaporation dans les feuilles. Cependant, ils existent plusieurs indications selon lesquelles le ^{2}H-ε_{bio} dans les composés organiques végétaux peut varier et que les valeurs de $\delta^{2}H$ sont également liées au métabolisme de la plante. Dans cette thèse, l'influence du métabolisme de la plante sur la variabilité du ^{2}H-ε_{bio} est spécifiquement explorée en rapport aux mécanismes biochimiques possibles sous-jacents à cette variabilité.

Dans une première étude, basée sur des données empiriques produites dans deux expériences distinctes, il est démontré que le ^{2}H-ε_{bio} de différents composés dans les plantes est étroitement couplé à son métabolisme du carbone et de l'énergie. Sur la base de ces données, un modèle biochimique conceptuel est développé expliquant comment et où le fractionnement du ^{2}H se produit dans la biosynthèse des principales classes de composés organiques végétaux. Les processus biochimiques de fractionnement isotopique qui introduisent un signal métabolique dans les valeurs de $\delta^{2}H$ sont également décrits dans le modèle.

Dans une deuxième étude, à partir de l'analyses du δ^2H de plantes hétérotrophes, il est constaté que le fractionnement des isotopes de l'hydrogène qui se produit pendant la biosynthèse de différents composés organiques dans les plantes peut expliquer une partie de la variabilité observée dans les valeurs de δ^2H entre différent espèces. Les effets métaboliques sur les valeurs de ^{2}H entre les plantes hétérotrophes et leurs plantes de références autotrophes diffèrent pour différentes classes composées. La consistance remarquable des effets isotopiques sur composé spécifique entre les plantes d'origines autotrophe, hétérotrophes parasitaires ou mycohétérotrophes pointe vers un mécanisme physiologique général qui détermine ces effets et appuie le modèle développé dans la première étude.

Dans une troisième étude, le modèle a été testé sur une archive biologique provenant de Rothamsted pour étudier si les changements métaboliques des plantes peuvent être mesurés dans des plantes en conditions naturelles subissant des conditions de pCO_2 croissantes, donnant ainsi un nouvel outil pour étudier la réponse des plantes des changement de CO_2 atmosphérique à long terme. Les résultats suggèrent que les plantes de Rothamsted ont connu des changements métaboliques importants induits par des changements environnementaux et que ces changements métaboliques sont enregistrés par composition isotopique des composés organiques.

Dans l'ensemble, avec ce modèle, il est illustré mécaniquement que l'information enregistrée dans la composition isotopique des composés organiques végétaux va au-delà des signaux hydrologiques, et contient également des informations importantes sur le métabolisme du carbone et de l'énergie de la plante. Conséquemment, cette thèse fournie la base mécanistique pour introduire les isotopes de l'hydrogène dans les composés organiques végétaux en tant que nouveau traceur métabolique pour le métabolisme du carbone et de

l'énergie des plantes. Une tel outil pourra être appliquée dans un large éventail de disciplines, tel que la physiologie des plantes et des écosystèmes, la biogéochimie, la paléoécologie et les sciences de la Terre.