

第3章 排出トリチウムの生物体移行に関する調査研究

3.1 大気排出トリチウムの大気－植物間移行パラメータに関する調査研究

Tritium Transfer from the Atmosphere to Crops

谷 享, 新井 竜司, 多胡 靖宏, 久松 俊一

環境影響研究部

Takashi TANI, Ryuji ARAI, Yasuhiro TAKO, Shun'ichi HISAMATSU

Department of Radioecology

Abstract

Trace amounts of tritium (${}^3\text{H}$) are expected to be released into the atmosphere from operation of the spent nuclear fuel reprocessing plant in Rokkasho, Japan. Since tritiated water (HTO) is transferred to crop plants and can be incorporated into organic compounds, estimation of the ${}^3\text{H}$ concentration in the edible parts of crop plants is necessary for the assessment of the local radiological impact of ${}^3\text{H}$ from the reprocessing plant. The purpose of this study is to establish a dynamic compartment model describing tritium accumulation in crop plants.

Tritiated water is transferred from the atmosphere to free water of crop plants through the stomata and cuticle covering the epidermis. Because stomata are only open during the light period, the transfer rate of HTO through the plant surface differs between light and dark periods. Moreover, the production rate of organically bound tritium (OBT) in plants differs between light and dark periods. Therefore, experimental data on tritium transfer from the atmosphere to organic matter of crop plants during both light and dark periods are necessary for the establishment of the model describing tritium accumulation in crop plants.

In FY 2013, rice plants were exposed to deuterium-enriched water (HDO) vapor during a dark period for 10 h at 83 d after seeding, and free water deuterium (FWD) concentrations in free water in the grain, shoot (leaf and stem) and root during the exposure were determined. Rice plants were also exposed to HDO vapor at 74, 80, 87, 93, 100, 106 or 116 d after seeding, and organically bound deuterium (OBD) concentrations in the grain, shoot and root harvested at 126 d after seeding were determined. During the exposure at 83 d after seeding, FWD concentrations in the grain and shoot increased but not in the root, indicating that the transfer of FWD from the aboveground parts to the root in rice plants was negligibly small. Non-exchangeable OBD (NxOBD) concentration in the grain at harvest was the highest in the exposure at the early stage of rapid grain growth.

By using our data on metabolism of deuterium in a leaf vegetable plant (*Brassica campestris*) reported previously, we constructed a three-compartment model of deuterium metabolism in the shoot. In this model, the shoot consisted of two compartments of free HDO (FWD1 and FWD2) and an NxOBD compartment. Heavy water in the FWD1 compartment that entered from both the leaf surface and root was exchanged with the FWD2 compartment and also removed by transpiration. Deuterium in the FWD1 compartment was transferred to the NxOBD compartment mainly by photosynthesis. The FWD resulting from degradation of NxOBD was returned to the FWD1 compartment. The values of transfer parameters in the model were

estimated with the results of exposure experiments by a least square method. The estimated concentrations of FWD and OBD in the shoot obtained by the model agreed relatively well with the observed values.

1. 目的

大型再処理施設の稼働に伴い微量ながら排出されるトリチウムの一部は、自由水トリチウム（FWT）及び有機結合型トリチウム（OBT）として作物体内に蓄積すると考えられる。本調査では、大気－植物自由水間の移行パラメータ及び植物中におけるOBTの生成・蓄積に関する調査を行い、作物のトリチウム代謝モデルを構築することを到達目標とする。平成25年度は、イネのトリチウム代謝モデルを構築するため、安定同位体である重水素（D）をトレーサとして使用したばく露実験を行った。また、平成22年度から24年度までに行った葉菜（コマツナ）及び根菜（ハツカダイコン）への重水ばく露実験の結果に基づき、コマツナ及びハツカダイコンのD代謝モデルを作成した。ここでは、コマツナのD代謝モデルについての成果を主に報告する。

2. 方法

大気－植物間のHTO移行速度は明期と暗期で異なることから、平成25年度は暗期にイネを重水蒸気にばく露した。イネを気温25°C、相対湿度65%、光量子束密度 $580\text{ }\mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ 、日長12時間で栽培し、播種後83日目の暗期に行った1、4、7または10時間の重水蒸気ばく露終了直後の穀、茎葉及び根の自由水重水素(FWD)濃度を調べた。また、播種後74、80、87、93、100、106、116日目の暗期にイネを2時間重水蒸気にばく露し、最終収穫日（播種後126日目）の穀の非交換型有機結合型重水素(NxOBD)濃度を調べた。

これまでに得られている、重水を葉面及び根より吸収させたコマツナの葉FWD濃度の時間変化データ、及び播種後日数別に重水を葉面吸収させたコマツナの収穫日における葉NxOBD濃度のデータを基に、3コンパートメントからなるモデル（Fig. 1）を構築した。

3. 成果の概要

暗期に1、4、7または10時間重水蒸気にばく露した直後のイネの穀、茎葉及び根のFWD濃度をTable 1に示す。大気からの重水の移行によって穀及び茎葉のFWD濃度は増加したが、根のFWD濃度はバックグラウンドレベル($0.15\text{ mmol D mol}^{-1}\text{ H}$)に近い値であった。出穂期（播種後74日目）から黄熟期（播種後116日目）にかけて播種後日数別の暗期に生成されたNxOBDの穀における収穫時残存濃度は、Fig. 2に示すように乳熟期（播種後87日目）にばく露された個体で高くなかった。

作成したコマツナの葉の重水素代謝モデルをFig. 1に示した。各コンパートメントのサイズはコマツナの成長曲線データに基づき時間変化させ、重水の総吸収速度に対する葉面吸収速度の比率は大気相対湿度に等しいと仮定した。葉面の気孔を開いて光合成を行う明期の蒸散速度定数は、成長曲線データから求めた光合成速度に基づき算出した。暗期の蒸散速度定数及びFig. 1に示したその他の速度定数は、明期及び暗期に葉面と根から吸収させたDの葉中FWD濃度と、明期及び暗期に葉面から吸収させたDの収穫時NxOBD残存濃度を用いて、最小二乗法により推定した。モデルによるFWD濃度とNxOBD濃度推定値を実測値とともに各々Fig. 3と4に示しており、推定値と実測値は概ね一致した。

Table 1 Deuterium concentrations in free water of grain, shoot (leaf and stem), and root of rice plants exposed to deuterium-enriched water vapor during dark period at 83 d after seeding (mean \pm SD, $n = 3$)

Time after the start of exposure (h)	Grain FWD concentration (mmol D mol ⁻¹ H)	Shoot FWD concentration (mmol D mol ⁻¹ H)	Root FWD concentration (mmol D mol ⁻¹ H)
1	1.59 \pm 0.14	0.64 \pm 0.04	0.147 \pm 0.003
4	3.02 \pm 0.36	2.12 \pm 0.60	0.165 \pm 0.007
7	4.27 \pm 0.92	1.76 \pm 0.19	0.167 \pm 0.010
10	5.08 \pm 0.22	2.13 \pm 0.06	0.210 \pm 0.014

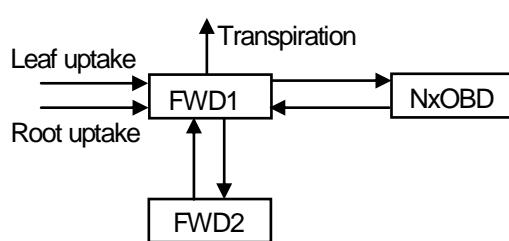


Fig. 1 Scheme of three-compartment model of deuterium metabolism in shoot of *Brassica campestris*.

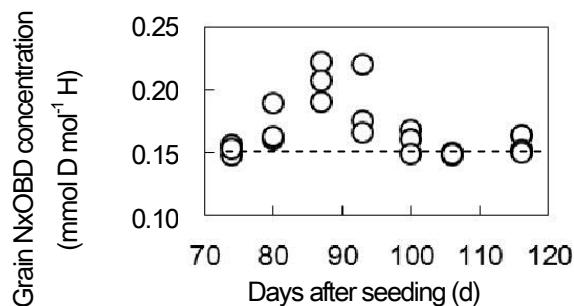


Fig. 2 NxOBD concentrations in grain of rice plants exposed to deuterium-enriched water vapor during dark period at 74, 80, 87, 93, 100, 106 or 116 d after seeding and at harvest 126 d after seeding. The dashed line indicates the background concentration of deuterium (0.15 mmol D mol⁻¹ H).

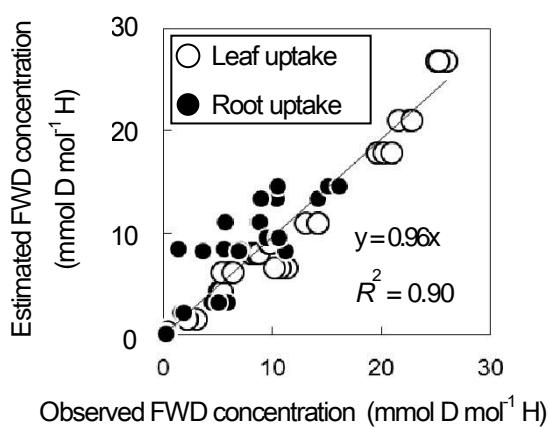


Fig. 3 Observed and estimated deuterium concentrations in free water of shoot of *Brassica campestris*.

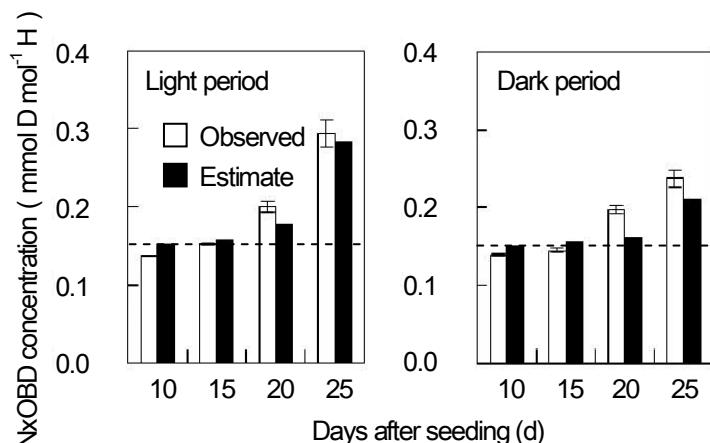


Fig. 4 Observed and estimated NxOBD concentrations in shoot of *Brassica campestris* exposed to deuterium-enriched water vapor during light or dark periods at 10, 15, 20, or 25 d after seeding and at harvest 28 d after seeding. Dashed lines indicate the background concentration of deuterium (0.15 mmol D mol⁻¹ H).