

第4章 排出トリチウムの生物体移行に関する調査研究

4.1 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, 中村 裕二
環境シミュレーション研究部

Takashi TANI, Ryuji ARAI, Yasuhiro TAKO, Yuji NAKAMURA
Department of Environmental Simulation

Abstract

Trace amounts of tritium (^3H) are expected to be discharged into the environment from operation of the spent nuclear fuel reprocessing plant in Rokkasho, Japan. Since tritiated water (HTO) is transferred to plants through the leaf surface and root, it is necessary to assess the local radiological impact of ^3H from the reprocessing plant to predict the ^3H concentration in the edible parts of crops. In this study, a dynamic compartment model was established to describe tritium accumulation in a type of leafy vegetable plant.

In FY 2010, we investigated the deuterium enriched water (HDO) uptake of *Brassica campestris* (Komatsuna) via the root, and constructed a three-compartment model of hydrogen metabolism in the shoot, which has two compartments of free water with (FW1) and without (FW2) transpiration and a non-exchangeable organically-bound hydrogen (NxOBH) compartment in the shoot. Water from both the leaf surface and root enters into the FW1 compartment and is exchanged with the FW2 compartment. Free water in the FW1 compartment is transpired, and H in the free water is transferred to the NxOBH compartment mainly by photosynthesis. The free water resulting from degradation of NxOBH is returned to the FW1 compartment. Transfer parameters in the model, such as transpiration rate and rate constants of H transfer between compartments etc., were cited from the literature. Although the model fairly well described D concentration in free water in Komatsuna shoot, D concentrations in NxOBH were not examined.

In FY 2011, the HDO uptake via the leaf surface was studied using Komatsuna to obtain actual values of parameters in the model. Komatsuna plants were exposed to HDO vapor during a light or dark period at 15 d after seeding, and D concentrations in free water in the shoot during the exposure were determined. Komatsuna plants were also exposed to HDO vapor at 10, 15, 20 or 25 d after seeding, and D concentrations of NxOBH in the shoot harvested at 28 d after seeding were determined. The parameter values in the model were estimated from the results of the experiments, and some parameter values differed by a factor of 2-7 from those in the literature. The model using the obtained parameter values mostly well described D concentrations measured in free water and NxOBH of the shoot.

1. 目的

大型再処理施設の稼働に伴い大気中に排出されるトリチウムは、水分子の形態 (HTO) で作物体内に移行し、作物体内の自由水トリチウム (FWT) の

一部は代謝によって有機結合型トリチウム (OBT) となる。OBT が人体に摂取された場合の実効線量換算係数は、HTO の約 2.3 倍高いとされており (ICRP, 1995)、現実的な被ばく線量評価のためには、作物中

の FWT 及び OBT 濃度を推定できるモデルを構築する必要がある。

本調査研究では、大気-植物間の FWT 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 23 年度は、葉菜のコマツナを対象として、葉面吸収された HTO 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。ばく露した植物の地上部の FWD 及び非交換型有機結合型重水素 (NxOBD) 濃度の実測値を基にしてコマツナのトリチウム代謝モデルを作成した。

2. 方法

大気-植物間の FWD の移行を調べるため、コマツナを気温 25°C、相対湿度 65%、光量子束密度 220~260 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、日長 12 時間で栽培し、播種後 15 日目の明期と暗期にそれぞれ 11 時間、D 濃度を 6% に調整した重水水蒸気にばく露して、ばく露中の地上部 FWD 濃度の時間変化を調べた。

植物中の OBD の生成・蓄積を調べるため、前述と同様に栽培したコマツナを、播種後 10、15、20、25 日目の明期と暗期に 2 時間 6% 重水水蒸気にばく露した。ばく露終了後、バックグラウンドの重水水蒸気濃度の人工気象器内でコマツナを栽培し、播種後 28 日目の地上部を採取した。粉末状にした地上部の乾燥試料を重水フリー水 (D 濃度 2~3 ppm) と混合し、交換型 OBD の除去を行って、NxOBD 濃度を測定した。

3. 成果の概要

平成 22 年度に行ったコマツナに重水を経根吸収させた実験では、地上部の自由水コンパートメント (FW) を 2 つに分ける必要があることが示唆された (Fig. 1)。平成 22 年度に試験的に構築したコンパートメントモデルでは、各コンパートメント内の水素量の時間変化を

$$\frac{dM_{F1}}{dt} = I_{AF}(t) + I_{RF}(t) + k_{OF}M_O(t) + k_{21}M_{F2}(t) \quad (1)$$

$$-k_{12}(t)M_{F1}(t) - P_L(t) - k_{FA}(t)M_{F1}(t)$$

$$\frac{dM_{F2}}{dt} = k_{12}(t)M_{F1}(t) - k_{21}M_{F2}(t) \quad (2)$$

$$\frac{dM_O}{dt} = P_L(t) - k_{OF}M_O(t) \quad (3)$$

と表した。 $M_{F1}(t)$ 、 $M_{F2}(t)$ 、 $M_O(t)$ は、それぞれ地上部の自由水コンパートメント 1 と 2 (FW1、FW2) および地上部の非交換型の有機結合型水素コンパートメント (NxOBH) の水素量 (mol H) である。 $I_{AF}(t)$ 、 $I_{RF}(t)$ 、 $P_L(t)$ は、それぞれ、葉面吸収、経根吸収、FW1 から NxOBH への代謝による水素移行速度 (mol H d^{-1}) を表す。 k_{21} は FW2 から FW1 への水素移行速度定数 (d^{-1})、 $k_{12}(t)$ は FW1 から FW2 への水素移行速度係数 (d^{-1})、 $k_{FA}(t)$ は蒸散速度係数 (d^{-1})、 k_{OF} は NxOBH の分解速度定数 (d^{-1}) を表す。なお、 $k_{FA}(t)$ は明期と暗期で値が変わり、明期は成長曲線データから求めた気孔抵抗より算出し、暗期はクチクラ蒸散によって自由水が失われることから定数とした。

$I_{AF}(t)$ 、 $I_{RF}(t)$ 、 $P_L(t)$ 、 $k_{12}(t)$ は、

$$I_{AF}(t) = r(t)\{N_F(t) + N_O(t) + k_{FA}(t)M_{F1}(t)\} \quad (4)$$

$$I_{RF}(t) = \{1 - r(t)\}\{N_F(t) + N_O(t) + k_{FA}(t)M_{F1}(t)\} \quad (5)$$

$$P_L(t) = N_O(t) + k_{OF}M_O(t) \quad (6)$$

$$k_{12}(t) = \{\phi N_F(t) + k_{21}M_{F2}(t)\}/M_{F1}(t) \quad (7)$$

と表した。ここで、 $N_F(t)$ と $N_O(t)$ は地上部の成長曲線データから得られる自由水と NxOBH の増加速度 (mol H d^{-1})、 $r(t)$ は大気相対湿度 (0~1)、 ϕ は地上部の自由水に占める $M_{F2}(t)$ の比率 (0~1) である。

平成 22 年度の調査では、経根吸収に由来する FWD の地上部中濃度の時間変化を調べており、NxOBD のデータは実験系を構築中であつたために取得していない。そのため、平成 22 年度のモデルでは、 ϕ 、 k_{21} 、 k_{OF} 、暗期の $k_{FA}(t)$ に文献値を用いた。そこで平成 23 年度は、 ϕ 、 k_{21} 、 k_{OF} 、および暗期の $k_{FA}(t)$ を実験データ (Figs. 2, 3) より最小二乗法を用いて推定した。なお、平成 22 年度と同様に、明期の $k_{FA}(t)$ は成長曲線データから求めた気孔抵抗から算出した。

得られたパラメータの値は文献値と大差がないものもあつたが、2~7 倍の違いが認められた場合もあつた。今回得たパラメータを用いたモデルによる推定値は実験結果と概ねよく一致したが、栽培期間

後半の暗期に生成した OBD の収穫時濃度の推定値は実測値よりも低くなった (Fig. 3B)。モデルでは、暗期に起こる地上部から根への有機物の再分配 (Kim et al., 2011) を考慮に入れておらず、この点を改良することでモデルの推定精度が向上する可能性がある。

引用文献

ICRP (1995) ICRP Pub. 72, Pergamon Press, Oxford.
 Kim, S.B. et al. (2011) J. Environ. Radioactivity, 104, 94-100.

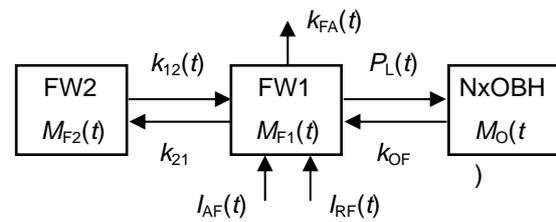


Fig. 1 Scheme of the dynamic three-compartment model.

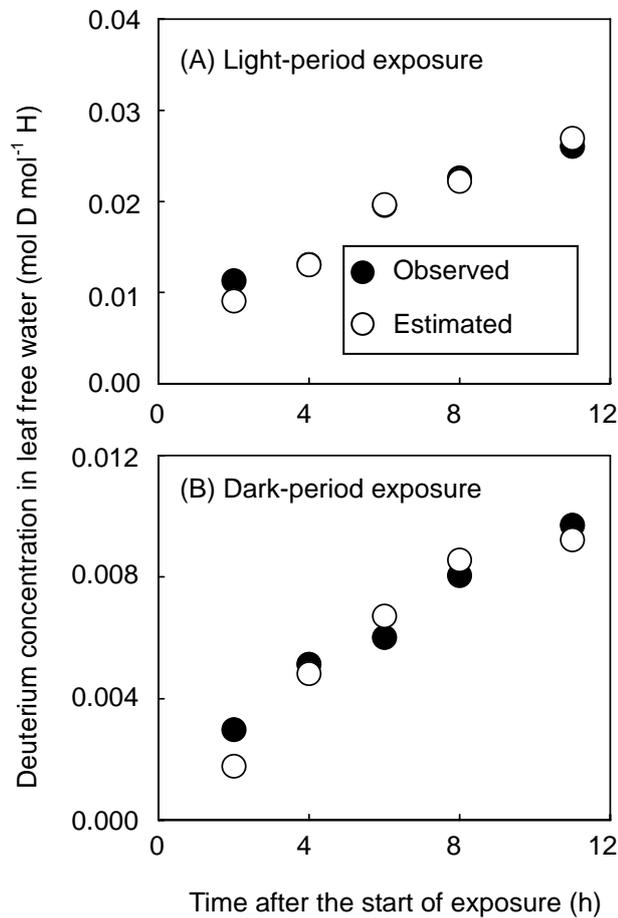


Fig. 2 Observed and estimated deuterium concentrations in free water of *Brassica campestris* shoot exposed to deuterium-enriched water vapor during light (A) or dark (B) periods at 15 d after seeding.

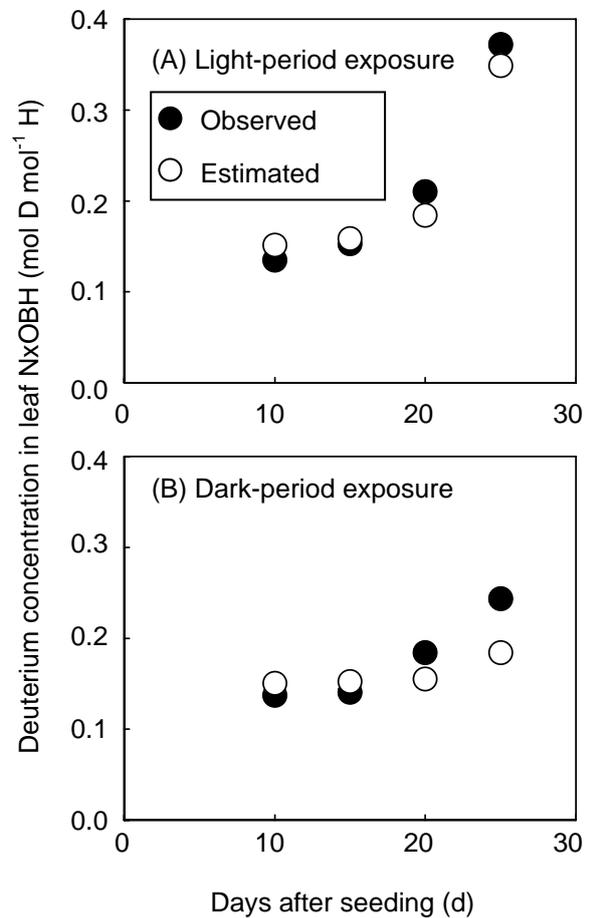


Fig. 3 Observed and estimated deuterium concentrations in NxOBH in *Brassica campestris* shoot exposed to deuterium-enriched water vapor during light (A) or dark (B) periods at 10, 15, 20 or 25 d after seeding and harvested at 28 d after seeding.