

1.2 青森県産物への放射性物質移行に関する調査研究

1.2.1 果樹における放射性炭素移行調査

Transfer of ^{14}C from the Atmosphere to Fruit Trees

今田 省吾, 多胡 靖宏, 高久 雄一, 久松 俊一

環境影響研究部

Shogo IMADA, Yasuhiro TAKO, Yuichi TAKAKU, Shun'ichi HISAMATSU

Department of Radioecology

Abstract

Part of the ^{14}C released from the nuclear fuel reprocessing plant in Rokkasho, Aomori, Japan in the form of CO_2 is incorporated into the organic compounds of crop plants by photosynthesis and it causes an internal radiation dose to people who consume the crops. The purpose of this study is to establish a dynamic compartment model describing transfer of photo-assimilated ^{14}C into fruits and its accumulation in them for an apple tree, as a representative for fruit tree crops, using a stable carbon isotope (^{13}C). In FY 2019, we constructed a dynamic compartment model describing C flow and accumulation in young apple trees based on the data of changes in C inventory in the fruits, leaves, and current-year branches over time as well as ^{13}C concentration ($^{13}\text{C}/(^{13}\text{C} + ^{12}\text{C})$) in the plant organs at the time of cutting down the trees grown under controlled environmental conditions obtained in FYs 2017 and 2018. The model was verified using the data of changes in C inventory overtime and ^{13}C concentration in the plant organs at the time of cutting down the trees grown in the field obtained in this fiscal year.

A compartment model with six compartments for three-year old potted 'Fuji' apple (*Malus domestica*) trees (JM. 1) (hereafter, young apple trees) was constructed using the experimental data obtained in FYs 2017 and 2018. The transfer rate constants from slow C to fast C compartments in the plant organs were determined by the least square fitting. The fruit ^{13}C concentrations estimated with the model were in good agreement with the measured values, indicating that the model could evaluate the transfer and accumulation from the atmosphere of ^{14}C in fruits at harvest for young apple trees grown under controlled environmental conditions.

Fluctuations of C inventory in the fruits, leaves, and current-year branches of field-grown young apple trees over time during the fruit development period were determined by the data of changes in the size of all the plant organs of five trees over time by repeated measurements as well as of the relationships between the size and C inventory in the plant organs of trees cultivated at three times during the development period. Nine field-grown young apple trees were exposed to $^{13}\text{CO}_2$ (approximately 15 atom%) for 8 hours in an exposure chamber in each exposure time. Five out of the nine exposed trees in each exposure were cultivated until being cut down and the ^{13}C concentrations in the plant organs were determined. To verify the applicability of the model to field-grown young apple trees, the ^{13}C concentrations in the plant organs when cut down estimated by the model were compared with the measured values. The estimated values of ^{13}C concentration in the fruits at the time the trees were cut down were in good agreement with the measured values without adjusting the parameters, indicating that the constructed model could apply to the field-grown young apple trees.

1. 目的

大型再処理施設から排出された ^{14}C の一部は光合成作用によって植物に吸収され、有機物に同化される。本調査では、果樹の代表的作目であるリンゴを対象に、炭素安定同位体である ^{13}C をトレーサーとして用いて、光合成で固定された炭素の果実への移行・蓄積モデルを構築することを到達目標とする。令和元年度の調査における目標は以下の通りである。

- ① 平成 29 及び 30 年度に実験施設内で取得した各部位の炭素現存量の経時変化データ及び収穫時の部位別 ^{13}C 濃度データに基づき、リンゴ幼木の炭素移行・蓄積モデルを作成する。
- ② 屋外の圃場で栽培したリンゴ（ふじ）幼木の各部位の炭素現存量の経時変化データを得るとともに、果実生育段階別に $^{13}\text{CO}_2$ にばく露した個体の収穫時における各部位での ^{13}C 濃度データを取得して、上述したモデルの屋外栽培リンゴ幼木への適用性を検証する。

2. 方法

2.1 リンゴ幼木の炭素移行・蓄積モデルの作成

平成 29 及び 30 年度に実験施設内で栽培したリンゴ幼木で得た実験データに基づき、果実、葉及び当年枝がそれぞれ移動性及び不動性のそれぞれ 3 コンパートメントを持つリンゴ幼木の炭素移行・蓄積モデルを作成した（Fig. 1）。Fig. 1 では、各コンパートメント中炭素量を M 、速度定数を k と表記している。

2.2 モデル検証用データの取得及びモデルの検証

屋外の圃場で栽培した 3 年生のリンゴ幼木 5 個体について、全ての果実、葉及び当年枝の外形サイズに関するデータを経時的に取得した。果実生育期間中に 3 度、リンゴ幼木を刈り取って、それらの部位の外形サイズ及び乾燥重量を測定するとともに、炭素濃度を測定し、各部位の外形サイズと炭素現存量との関係式を導出した。得られた関係式と各部位の外形サイズの経時変化データから各部位炭素現存量の果実生育期間に渡る経時変化を推定した。さらに、果実生育期間の各時期において、屋外の圃場で栽培したリンゴ幼木 9 個体を対象に ^{13}C 存在比約 15%の

CO_2 へのばく露をばく露室で約 8 時間行った。各時期にばく露した後、屋外で栽培したリンゴ幼木のうち 5 個体を収穫日に刈り取り、各ばく露時期に固定された ^{13}C の収穫時における目的部位別濃度 ($^{13}\text{C}/(^{13}\text{C} + ^{12}\text{C})$) を測定した。

得られた各部位炭素現存量の経時変化を用い、2.1 で作成したモデルによって各ばく露時期に固定した ^{13}C の収穫時における果実、葉及び当年枝中の濃度の推定値を求め、実測値との比較によりモデルの屋外への適用性を検討した。

3. 成果の概要

3.1 リンゴ幼木の炭素移行・蓄積モデルの作成

実験施設内で栽培したリンゴ幼木で得た実験データを用いて、Fig. 1 の各部位の不動性炭素から移動性炭素コンパートメントへの移行速度定数 (k_{FIM} 、 k_{FIM} 及び k_{FIM}) を最小二乗法により求めた (Table 1)。その際、他のパラメータには、文献値を用いた。その結果、収穫時の果実中 ^{13}C 濃度のモデル推定値は実測値と概ね一致することが示された (Figs. 2 and 3)。これにより、室内栽培下におけるリンゴ幼木について、大気中から収穫時果実への ^{14}C の移行・蓄積を推定可能なモデルを作成した。

3.2 モデル検証用データの取得及びモデルの検証

モデル検証に必要なデータを取得するため、まず、果実、葉及び当年枝の外形サイズから炭素現存量を推定する式を導出した ($R^2=0.91$ 以上)。次に、各部位のサイズと炭素現存量との関係式及び各部位のサイズの経時変化データを用いて、各部位の炭素現存量の経時変化を推定し、ロジスティック関数での近似により生長曲線を作成した (Fig. 4)。さらに、ばく露実験終了後から収穫日まで屋外栽培したリンゴ幼木の収穫時における果実、葉及び当年枝の ^{13}C 濃度データを得た (Fig. 2)。

得られた各部位の炭素現存量の経時変化を用いて、3.1 で作成したモデルにより、各時期にばく露した果実中収穫時 ^{13}C 濃度の推定値は実測値と概ね一致し (Fig. 3)、本モデルは、屋外栽培の幼木に適用可能であることが示された。

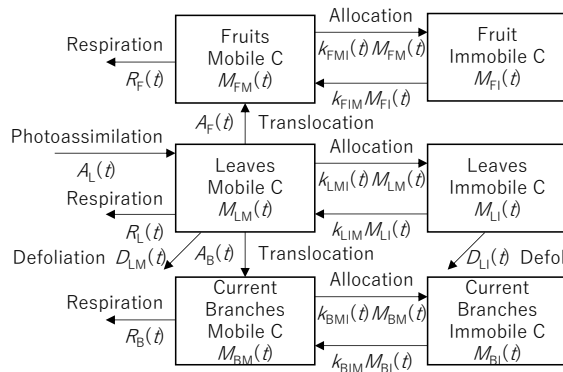


Fig. 1 The conceptual diagrams of the dynamic compartment model for young apple trees.

Table 1 Transfer rate constants from slow C to fast C compartments in the plant organs.

Parameters	Units	Estimates	95% confidence intervals
k_{FIM}	d^{-1}	0	-
k_{LIM}	d^{-1}	0.0015	0.00086–0.0023
k_{BIM}	d^{-1}	0.00045	0–0.0012

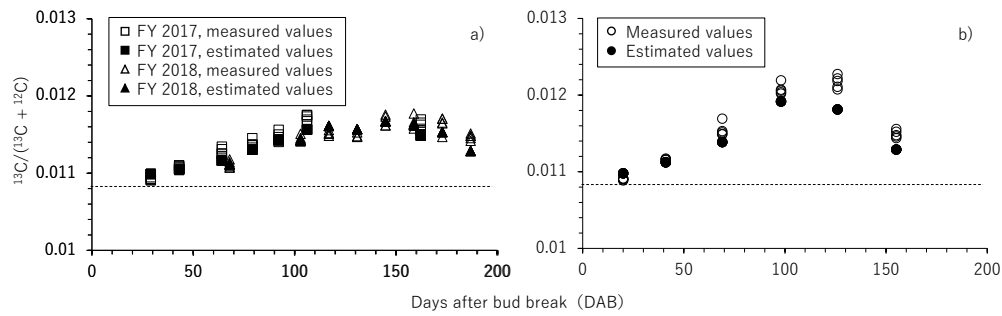


Fig. 2 The measured and model-estimated concentrations of ^{13}C fixed at different periods and the concentrations that remained in the fruits at the time of cutting down young apple trees grown under controlled environmental conditions in FYs 2017 and 2018 (a) and in the field in FY 2019 (b).

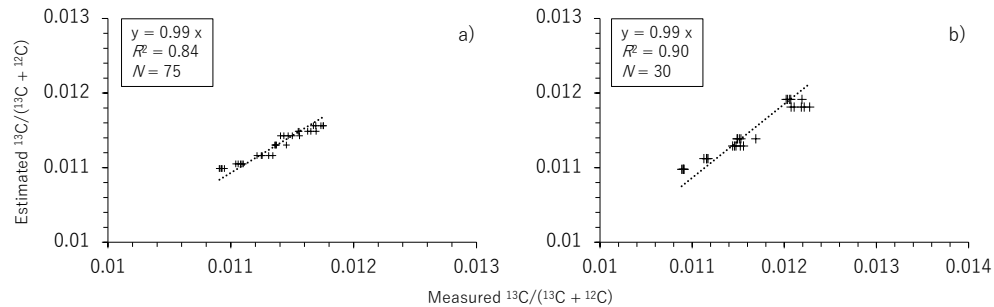


Fig. 3 Relationships between the measured and model-estimated concentrations of ^{13}C fixed at different periods and the concentrations that remained in the fruits at the time of cutting down young apple trees grown under controlled environmental conditions in FYs 2017 and 2018 (a)

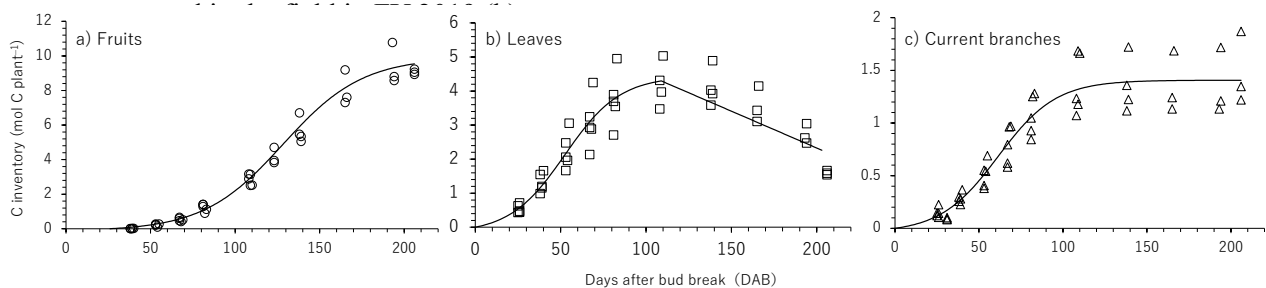


Fig. 4 The growth curves of C inventory for the fruits (a), leaves (b), and current-year branches of field-grown young apple trees in FY 2019 (c). *Lines indicate the growth curves obtained by the logistic (and linear) regression models which were corrected as the lines pass through the origin.