

# 日本全国 12 試験地における化学および 有機質肥料の施用がトマトの窒素安定同位体比に与える影響 —栽培場所間の変動解析—

中野 明正・上原 洋一

(平成 19 年 12 月 3 日受理)

## Effect of Fertilizer on the $\delta^{15}\text{N}$ Values of Tomato Cultivated in 12 Prefectures in Japan: Analysis Among Different Experimental Sites

Akimasa Nakano and Yoichi Uehara

### I 緒 言

有機農産物の要件の内、無化学肥料栽培作物を通常の化学肥料栽培作物と判別する場合、窒素安定同位体比の分析値を基に計算される  $\delta^{15}\text{N}$  値が適用できる可能性が示された (Nakano ら, 2003).  $\delta^{15}\text{N}$  値は  $^{15}\text{N}$  の  $^{14}\text{N}$  に対する比 (窒素安定同位体比: R) について、標準試料である大気中の窒素の値との差から計算される値であり ( $\delta^{15}\text{N}$  値 (%)) =  $[R(\text{試料})/R(\text{標準試料}) - 1] \times 1000$ ),  $\delta^{15}\text{N}$  値は、化学肥料と有機質肥料において大きく異なることから、作物が主に肥料に由来する窒素を吸収し、吸収の過程で  $\delta^{15}\text{N}$  値が大きく変化しないため生産物の  $\delta^{15}\text{N}$  値に反映されることに判別の根拠がある.  $\delta^{15}\text{N}$  値に加えて、硫黄や酸素の同位体比から計算される  $\delta^{34}\text{S}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$  値についても検討された結果、慣行施肥と有機物施用農産物の判別には、これらの安定同位体の指標のなかでも窒素が最も適当であることも示されている (Georgi ら, 2005).

$\delta^{15}\text{N}$  値による判別基準は市販の農産物についても適用が試みられ、市場管理に適用できる可能性も示されている (中野ら, 2002; 中野ら, 2005). しかし、土壌などの培地を用いる場合、培地からの窒素の供給があるため、その値も野菜の  $\delta^{15}\text{N}$  値に影響を与えることが想定

された. 例えば、イチゴのポット試験で通常の施肥を行った場合、土壌の影響は小さく、施肥の影響が大きいことが示され (中野ら, 2006), 土壌に関係なく判別が可能であるとの結果が得られている. 一方で、トマトのポット試験で肥料の種類や施用法を変えた場合、緩効性か速効性かといった肥料の性質や、基肥施肥か灌水同時施肥かなどの施肥法により、 $\delta^{15}\text{N}$  値が異なることも示された (Nakano ら, 2007).

一方、化学肥料と有機質肥料といった 10% 程度  $\delta^{15}\text{N}$  値が異なる肥料を用いた場合、それにより生産される野菜の  $\delta^{15}\text{N}$  値も大きく異なり、土壌の影響を受けることも示唆されている. そこで、実際に  $\delta^{15}\text{N}$  値により有機物施用農産物の判別を行う場合の適用範囲を考えると、土壌や気象を含めた栽培環境の影響を明らかにしておく必要がある. また、生産物の  $\delta^{15}\text{N}$  値に直接影響を与える、窒素の画分を解明することが判別技術を適用する上で必要な知見となる.

本報告では、化学および有機質肥料を用いた栽培を全国 12 の道県 (北海道, 福島, 群馬, 長野, 福井, 静岡, 愛知, 兵庫, 山口, 徳島, 佐賀, 熊本) の公立場所に委託し、トマトにおける  $\delta^{15}\text{N}$  値を用いた施肥の判別技術の適応範囲を調査した. また、各地の圃場においては土壌に含まれる窒素成分組成も異なることが想定され、果実の  $\delta^{15}\text{N}$  値と関連性が高い窒素画分を明らかにした.

道県の各地で栽培して頂き、また土壌と植物試料を送付して頂きました。北海道花・野菜技術センター大久保進一氏、福島県農業試験場 太田弘志氏、群馬県農業技術センター 渡辺悟氏、長野県南信農業試験場 木下義明氏、静岡県農業試験場 鈴木則夫氏、福井県農業試験場 畑中康孝氏、兵庫県立農林水産技術総合センター 小林尚司氏、山口県農業試験場 中野良正氏、徳島県立農林水産総合技術支援センター 杉本和之氏、佐賀県上場営農センター 岡和彦氏、熊本県農業研究センター 吉島豊喜氏（各、協力当時）の皆様へ感謝致します。

## II 材料および方法

### 1 トマトの栽培

表-1 に示す道県に立地する公立場所の試験圃場においてトマトの栽培を行った。供試した品種は、11 道県では単為結果性のトマト（ルネッサンス）としたが、山口県のみ栽培の都合上、桃太郎8（台木ベスパ）を使用した。播種・育苗および施肥に関しては、共通する資材を野菜茶業研究所から送付しこれらを使用することとし、栽培方法を極力同一化した。なお、栽培は全てビニルハウスなどの施設内で行った。育苗ポット（直径約10cm）に「くみあいニッピ園芸培土1号」と「苗一番」を1:1で混合した培養土を充填して、そこに鉢上げし、1段花房開花初期に定植した。栽培する圃場についても、圃場の区の設定など条件を統一した。試験区は、無肥料区（無肥区）、化学肥料区（化学区）、有機質肥料区（有機区）の3区を設け、各区に5株を株間40cmで定植し栽培した。1区当り長さ2m、幅30cmとし、区間には波板等を入れるか70cm以上の緩衝帯を置きトマト根が隣接区に伸長しないようにした。施肥は、各区（5株当

り）の添加量が化学区では苦土入CDU複合燐加安S222（ $\delta^{15}\text{N}$ 値：+0.15‰）を300g、有機区では牛糞・鶏糞（1:1）ペレット堆肥を900g（ $\delta^{15}\text{N}$ 値：+14.1‰）施用となるように設定した。長さ2m、幅30cmの範囲に肥料を均等に散布し、深さ約20cmまでの作土層に混和した。その後、畝立をし、畝の上面の幅を20cm、畝の高さを10cmとした。灌水は土壌全面に散水する方式とした。ルネッサンスは、各段の最初の花が奇形花になりやすいので、それを摘花し各段3果とした。摘芯は、2段目が着果した時点で、その上の葉3枚を残して行った。

### 2 土壌、土壌抽出液およびトマト果実の分析

各地において肥料施用前に土壌試料を採取した。圃場の4地点において深さ20cmまでの土壌を採取し、等量の土壌をビニル袋に入れて良く混合した後、約500gを採取した。80℃で3日間乾燥した土壌約10gを乳鉢で粉砕し分析試料とした。

土壌の水抽出液およびリン酸緩衝液抽出液は、乾燥した土壌1gに対してそれぞれ、5mLの蒸留水あるいはpH7.0リン酸緩衝液（67mMリン酸一カリウムと67mMリン酸二ナトリウムとを35:65の割合で混合しpH7.0に調整した溶液、樋口、1982）を添加し、30分間振とうし、濾紙（ToyoNo.5）で濾過して調製し分析試料とした。水抽出液についてはpHとECを測定し、硝酸イオン濃度をイオンクロマトグラフィー（IA-100、TOA社製）で測定した。リン酸緩衝液抽出液については、蒸留・滴定によりアンモニウムイオン濃度を測定した。また、抽出液5mLをアルミ箔上に分取し、80℃で蒸発乾固させ、CNコーダ（JM1000CN、ジェイ・サイエンス社製）で土壌全窒素濃度を測定した。

果実については、各区5株の両端を除いた中の3株よ

表-1 各地の栽培圃場の土壌の性質と耕種概要（2005年）

道県名	土 壌 名	施 肥	播 種	鉢上げ	定 植	1段収穫	2段収穫
北海道	造成土、砂壤土	5月27日	4月12日	5月2日	6月10日	7月28日～8月2日	8月8日～21日
福 島	細粒質褐色森林土	5月26日	—	—	6月6日	7月20日～28日	7月28日～8月5日
群 馬	淡色黒ボク土	5月16日	4月5日	—	5月25日	7月11日～20日	7月18日～25日
長 野	淡色黒ボク土	5月13日	3月26日	4月5日	5月16日	6月30日～7月5日	7月22日～27日
福 井	細粒強グライ土	—	—	—	—	7月18日頃	7月31日頃
静 岡	細粒黄色土	5月9日	3月30日	4月19日	5月12日	7月6日	7月11日
愛 知	黄色土	2月28日	—	3月15日	4月28日	6月7日～14日	6月20日～24日
兵 庫	灰色低地土	4月28日	3月22日	4月4日	5月6日	6月27日	7月5日
山 口	灰色低地土	4月13日	3月7日	4月11日	5月19日	6月24日	7月1日
徳 島	灰色低地土	5月6日	4月4日	—	5月18日	6月30日～7月1日	7月12日～14日
佐 賀	細粒赤色土	4月26日	3月25日	4月11日	5月19日	7月1日～4日	7月11日～19日
熊 本	厚層多腐植質黒ボク土	4月19日	4月12日	—	6月23日	8月12日～18日	8月30日～9月7日

—は記録なし

り1段果房と2段果房の任意の果実を採取し分析試料とした。各場所から送付されてきた果実を凍結乾燥後、粉砕して分析試料とした。

それぞれの分析試料はスズカプセルに封入し、安定同位体比分析装置 (EA1110-DELTAplus Advantage ConFlo III System, ThermoFinnigan 社) によって、窒素含量と  $\delta^{15}\text{N}$  値を測定した。

### III 結 果

#### 1 栽培土壌の化学性

土壌の  $\delta^{15}\text{N}$  値については +5.9~+12.3‰ (平均+9.4‰) であり、土壌全窒素濃度は、1.2~5.0mgN/g (平均 2.4mgN/g) と土壌毎に異なった (表-2)。リン酸緩衝液抽出窒素 (以後 PEN) 濃度は、0.31~0.41mgN/g であり他の形態の窒素と比べ変動幅が小さかった。また、PEN は土壌全窒素の 8~26% を占め、土壌全窒素との相関も高かった ( $R=0.728$ )。PEN の  $\delta^{15}\text{N}$  値は +3.5~+15.5‰ であり、土壌全窒素のその値と高い相関が認められた ( $R=0.702$ )。

土壌抽出液の EC は、0.12~0.66dS/m の間にあり、通常の土壌 EC であった。EC との相関は、硝酸イオン ( $R=0.738$ ) と PEN ( $R=0.682$ ) で高く、土壌全窒素 ( $R=0.437$ ) とアンモニウムイオン ( $R=0.0265$ ) では低かった。土壌 pH も 5.9~6.8 の間で酸性化やアルカリ化が進行している土壌ではなかった。

#### 2 施肥が果実の $\delta^{15}\text{N}$ 値に与える影響

試料の採取部位について差異がある可能性も考えられ

たため、 $\delta^{15}\text{N}$  値について1段果房 ( $\delta^{15}\text{N}_{1st}$ ) と2段果房 ( $\delta^{15}\text{N}_{2nd}$ ) の値を比較したところ、高い正の相関が認められた (図-1,  $\delta^{15}\text{N}_{2nd}=0.88\delta^{15}\text{N}_{1st}+0.59$ ,  $R=0.980$ )。以後の土壌等の  $\delta^{15}\text{N}$  値との相関を評価する場合、第1果房の値を用いた。

化学区と有機区を比較すると有機区の果実の  $\delta^{15}\text{N}$  値が化学区の果実に比べ常に高い値であり、それぞれの平均値は無肥区で+8.4‰、化学区で+4.3‰、有機区で+9.0‰であった (図-2)。それぞれの区の中の変動幅は、+0.9~+15.5‰ (14.6‰)、-2.2~+8.8‰ (11.1‰)、+1.2~+14.2‰ (13.0‰) と、いずれも10‰を超える大きな値であり、窒素の供給源の内大きく変動すること

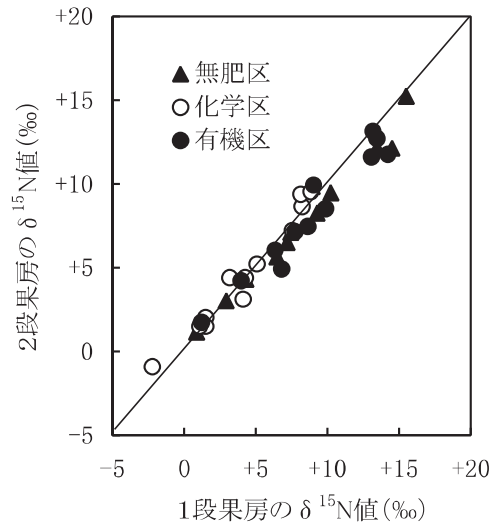


図-1 各地で栽培したトマト果実の第1および第2果房の  $\delta^{15}\text{N}$  値の関係  
直線は、軸双方の値が同じ1:1の点を示す。

表-2 供試した土壌の化学性

道県名	土壌全窒素		リン酸緩衝液抽出窒素 (PEN)		アンモニア態窒素 N (mg/g)	硝酸態窒素 N (mg/g)	EC (dS/m)	pH
	N (mg/g)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	N (mg/g)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)				
北海道	1.4±0.0	11.6±0.3	0.33±0.02	8.0±0.2	0.019±0.002	0.07±0.01	0.29±0.02	6.2±0.1
福島	1.8±0.1	7.0±0.2	0.36±0.01	7.4±0.4	0.019±0.004	0.12±0.00	0.40±0.00	6.3±0.0
群馬	2.0±0.2	9.6±0.3	0.31±0.01	7.0±1.8	0.016±0.004	0.02±0.00	0.16±0.01	6.5±0.0
長野	2.6±0.1	9.4±0.2	0.38±0.04	5.2±0.3	0.014±0.001	0.17±0.07	0.33±0.13	5.8±0.1
福井	2.6±0.1	6.7±0.2	0.40±0.00	7.2±1.5	0.015±0.000	0.16±0.01	0.51±0.03	6.7±0.1
静岡	3.8±0.3	10.6±0.2	0.41±0.02	15.5±0.4	0.021±0.004	0.17±0.02	0.66±0.12	6.7±0.1
愛知	1.4±0.1	5.9±0.4	0.31±0.01	3.6±0.3	0.027±0.002	0.02±0.02	0.17±0.09	6.3±0.2
兵庫	2.0±0.2	11.5±0.5	0.34±0.03	12.4±0.2	0.021±0.003	0.09±0.01	0.77±0.05	6.5±0.1
山口	2.3±0.1	10.6±0.5	0.37±0.02	11.5±1.0	0.017±0.000	0.13±0.02	0.65±0.05	6.2±0.1
徳島	1.2±0.1	10.4±0.3	0.31±0.01	13.4±0.4	0.014±0.001	0.01±0.00	0.18±0.01	6.8±0.0
佐賀	2.5±0.0	12.3±0.1	0.33±0.00	11.1±0.3	0.019±0.000	0.02±0.01	0.12±0.01	6.1±0.1
熊本	5.0±0.0	7.1±0.1	0.39±0.04	3.5±0.5	0.014±0.002	0.13±0.04	0.52±0.10	5.9±0.1

±標準偏差 (n=3)

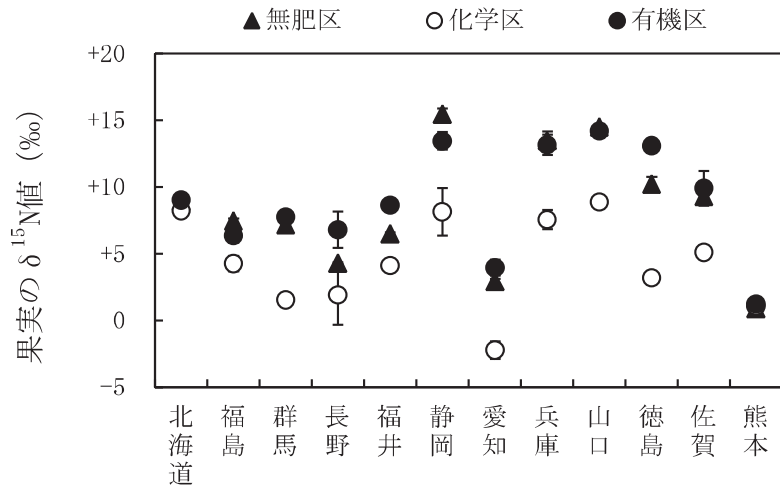


図-2 各地における施肥が果実の  $\delta^{15}\text{N}$  値に与える影響  
n=3, 縦棒は標準偏差

が想定されている PEN の影響が顕著に現れたためと考えられた。判別においては、化学区と有機区の差があることが重要であるが、今回の結果の場合、両区の差は、平均で 4.7‰あり、十分な差があることが認められたが、北海道と熊本ではその差が 0.2‰と 0.81‰しかなく、判別が困難と考えられた。

また、既報（中野ら，2004）では、果実の  $\delta^{15}\text{N}$  値が +4‰以下である場合、有機質肥料のみを使用して生産されたとするのは疑いがもたれることが想定されていたが、この基準を適用すると熊本と愛知では誤った判断をしてしまうことになった。

#### IV 考 察

##### 1 無肥料区の結果からの果実 $\delta^{15}\text{N}$ 値への土壤全窒素および PEN の影響評価

無肥料区の値から土壤全窒素および PEN の影響を評価した（図-3）。土壤全窒素と果実窒素の  $\delta^{15}\text{N}$  値については高い相関が認められた ( $R=0.692$ )。イチゴを用いた既報（中野ら，2006）においても、無肥料区では土壤全窒素と果実の  $\delta^{15}\text{N}$  値について相関を取った場合、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{fruit}}=0.850 \delta^{15}\text{N}_{\text{soil}}+1.16$  となり土壤全窒素を果実が反映し相関が高いことが明らかとなっている ( $R=0.731$ )。無肥料の場合、一部吸収される土壤全窒素が明確な同位体分別を生ずることなく、果実へと吸収・移行されている可能性が示唆されていた。一方、土壤全窒素の中には栽培期間中に容易には作物に吸収されないと考えられる難溶性の窒素画分も多く、土壤全窒素から PEN を差し引いた部分がこれに相当し、表-2 からは 74~92%と算

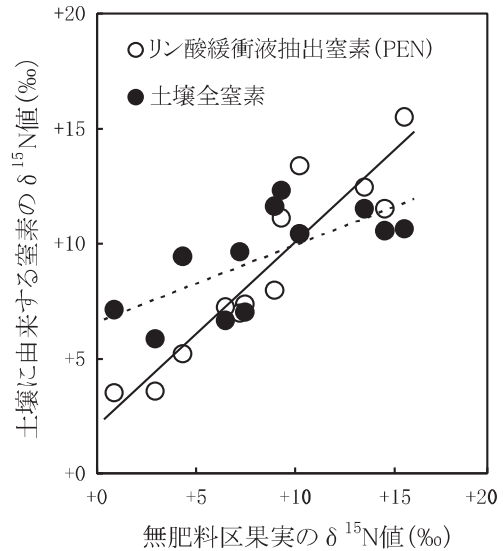


図-3 無肥料区の結果からの果実  $\delta^{15}\text{N}$  値への土壤全窒素および PEN の影響評価

平均値 (n=3) をプロット  
実線：リン酸緩衝液抽出窒素 (PEN) の近似曲線  
破線：土壤全窒素の近似曲線

出される。前報（中野ら，2006）では、土壤全窒素と果実の  $\delta^{15}\text{N}$  値の相関を評価したが、本報告では、PEN との相関も同時に求めた。イチゴの結果と同様に、無肥料区においては、土壤全窒素の  $\delta^{15}\text{N}$  値と果実の  $\delta^{15}\text{N}$  値の間に同様に高い正の相関が認められたが ( $R=0.692$ )、PEN の  $\delta^{15}\text{N}$  値との相関の方が一層高かった ( $R=0.931$ )。土壤由来の窒素として植物が吸収していたのは PEN のような比較的分解されやすいタンパク態窒素が含まれた画分であると推察された。

PEN と果実の  $\delta^{15}\text{N}$  値の相関は全体的に直線関係にあ



るが、 $\delta^{15}\text{N}$  値が+10‰より低い領域では相互の相関が特に高かった。本結果では、果実の  $\delta^{15}\text{N}$  値が+5‰以下の低い部分で、土壤全窒素と PEN の  $\delta^{15}\text{N}$  値の違いが大きくなった。これらは熊本と長野の結果であり、いずれも土壤全窒素の  $\delta^{15}\text{N}$  値が PEN の  $\delta^{15}\text{N}$  値に比べ 1.8~2.0 倍高いという特徴が認められ、リン酸緩衝液により抽出された画分に  $\delta^{15}\text{N}$  値が低い物質が含まれ、抽出されにくい画分に  $\delta^{15}\text{N}$  値の高い物質が含まれるという、画分による偏りがあることを示唆していた。例えば、微生物の作用により同位体分別が生じ  $\delta^{15}\text{N}$  値の高い、難溶性高分子の窒素化合物が形成されたことが想定される。以上のような結果から、土壤全窒素の  $\delta^{15}\text{N}$  値から農産物の  $\delta^{15}\text{N}$  値が推定できるが、PEN の  $\delta^{15}\text{N}$  値により、さらに正確な推定が可能となると考えられる。

## 2 施肥区における果実 $\delta^{15}\text{N}$ 値の変動原因

無肥料区では、PEN の  $\delta^{15}\text{N}$  値と果実の  $\delta^{15}\text{N}$  値の相関が高いのは果実への窒素の給源がほぼ土壤だけなので、当然の結果であるが、施肥を行った場合も PEN の  $\delta^{15}\text{N}$  値により果実の  $\delta^{15}\text{N}$  値が大きく影響を受けていたため、図-2 のような試験地間における大きな変動を示したと考察した。

前報（中野ら，2006）では、化学および有機質肥料を施用したイチゴの場合、果実の  $\delta^{15}\text{N}$  値と土壤全窒素の  $\delta^{15}\text{N}$  値との相関は低く、土壤全窒素の  $\delta^{15}\text{N}$  値にかかわらず果実の  $\delta^{15}\text{N}$  値は、化学および有機区でそれぞれ異なるほぼ一定の値であった。この実験では①ポット栽培のため根圏が隔離されていたこと、②土壤全窒素に比べ相対的に施肥窒素の割合が多かったことが考えられた。なお、品目による違いは小さいものと考えられた（中野ら，2004）。

具体的に前報（中野ら，2006）の数値と比較して検証する。前報の結果を見ると果実の  $\delta^{15}\text{N}$  値は、化学区では-2.8~+1.7‰と、化学肥料そのものの値-1.6‰付近に分散しており、変動幅は 4.5‰、平均値は-0.44‰であった。一方、有機肥料区では+6.0~+11.3‰と化学肥料区に比べ高く、有機肥料そのものの値+9.9‰付近に分散しており、変動幅は 5.3‰、平均値は+9.2‰であった。また、無肥料区では、果実の  $\delta^{15}\text{N}$  値は+3.7‰~+10.7‰であり、変動幅は最大の 7.0‰、平均値は化学肥料と有機肥料区間の値で+6.5‰であった。このように施肥を行った区の変動幅は 5‰程度であり、施肥の影響を受けて収斂していたが、この場合の土壤全窒素の  $\delta^{15}\text{N}$  値の変動は+3.3~+11‰で変動幅は 7.7‰であっ

た。今回の結果では土壤全窒素の  $\delta^{15}\text{N}$  値は、+5.9~+12.3‰で変動幅は 6.4‰と、前報とほぼ同様であるにもかかわらず、収穫された果実の値は、無肥料区、化学区、有機区で、いずれも 10‰を超える大きい変動であった。これは、窒素の供給源の内、土壤により大きく変動することが想定されている PEN の影響が顕著に現れたためと考えられた。また、通常の地床では根域が深いため、下層土の PEN も多く取り込まれたことが推定され、果実の  $\delta^{15}\text{N}$  値は PEN の影響を強く受けたものと考えられる。

## 3 PEN と肥料の $\delta^{15}\text{N}$ 値からの果実 $\delta^{15}\text{N}$ 値の予測

化学肥料の利用効率は、伊藤らの報告 40~50% から、中間の値である 45% を適用した。有機質肥料の利用効率は、標準的な肥効率（西尾，2007）から 30% とし、有効化したと考えられる肥料由来の窒素量（Nf）を計算した。また、PEN 濃度（Nmg/g）の結果から、作土層の容積を 1 株当たり、幅 0.3m 長さ 0.4m 深さ 0.19m（藤原ら，1996）（22.8L）、土壤の仮比重を 1 と仮定して PEN の総量を算出し、PEN の利用率については、鶏ふんの無機化される窒素が化成肥料と同等に吸収された結果（棚橋ら，2004）から、PEN が硝酸アンモニウムの利用率である 40~50%（ここでは中央値の 45% を適用）で吸収されたとして PEN 由来の窒素量（Ns）を計算した。肥料、土壤のリン酸緩衝液抽出物、および果実のそ

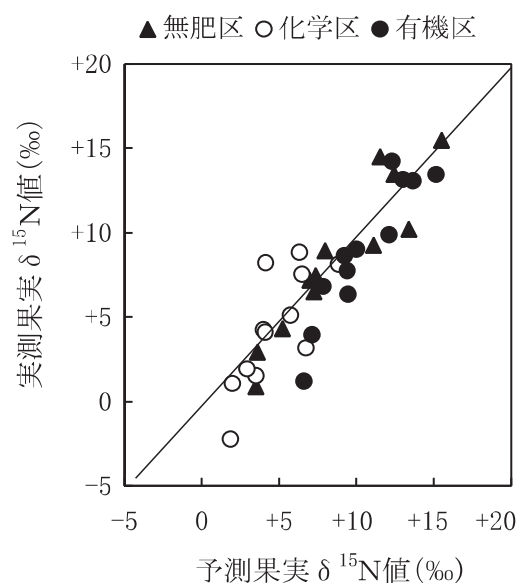


図-4 果実の  $\delta^{15}\text{N}$  値における予測値と実測値との関係  
 平均値 (n=3) をプロット、直線は縦と横軸の値が 1:1 の場合を示す。

それぞれの $\delta^{15}\text{N}$ 値を $\delta f$ ,  $\delta s$ ,  $\delta p$  (予測値) とすると,  
 $\delta p = (\delta f \times Nf + \delta s \times Ns) / (Nf + Ns)$  (式1) の式で表現できる. この場合の $\delta f$ については, 化学肥料の値は+0.15‰であり, 有機質肥料の値は+14.1‰であった. 式1とこれらの値から予測した果実の $\delta^{15}\text{N}$ 値 ( $\delta p$ ) と実測値の相関を計算すると図-4 のようになり高い相関 ( $R=0.896$ ) が得られた. しかし化学区については, 傾きが異なる可能性もあり, 今後より正確に予測できるモデル構築のための要因を解明する必要がある.  $\delta^{15}\text{N}$ 値を用いた施肥履歴の判別にはPENの情報も必要であり, 土壌の値と施肥量が明らかであれば2ソースモデル (和田, 2002) などを活用して, より正確に施肥履歴の推定が行える可能性がある.

以上まとめると, 隔離床などでない場合, PENの影響が大きく異なり, 土壌全窒素の画分によっても影響が異なる可能性が示唆された. 今後, さらに判別精度を向上させるには果実の $\delta^{15}\text{N}$ 値と相関関係の高い,  $\delta^{15}\text{N}$ 値の高い窒素画分を解明する必要がある.

茶では, 有機施肥栽培をすると作付年数が増加するほど $\delta$ 値が高くなる (中野ら, 2005). またイネでもその傾向が認められている (Nishidaら, 2007). 露地については, 溶脱も大きいと, 厳密な関係は認められ難いが, 施設の場合は肥料の溶脱が少ないため, 特に施肥との対応関係が明確につきやすいと考えられる. 10年以上連用した施設では, 土壌の $\delta^{15}\text{N}$ 値は肥料の影響を大きく受けてそれが果実に反映されることが示されている (中野ら, 2004). 本研究の12試験圃場でも, もし連用試験を継続すれば, 2年目以降は肥料の影響がより強く表れることが想定され, 土壌の補正がより有効に機能することも考えられる. 連用試験を実施し,  $\delta^{15}\text{N}$ 値の推移を検討すると共に, 何年で定常状態になるのかを明らかにする必要がある.

## V 摘 要

化学および有機質肥料を用いた栽培を全国12の道県 (北海道, 福島, 群馬, 長野, 福井, 静岡, 愛知, 兵庫, 山口, 徳島, 佐賀, 熊本) の公立場所に委託し, トマトにおける $\delta^{15}\text{N}$ 値を用いた施肥の判別技術の適応範囲を調査した. また, 各地の圃場においては土壌に含まれる窒素成分組成も異なることが想定され, 果実の $\delta^{15}\text{N}$ 値と関連性が高い窒素画分を明らかにした.

無施肥区でトマトを栽培した場合, トマト果実の $\delta^{15}\text{N}$ 値は土壌全窒素の $\delta^{15}\text{N}$ 値よりも, リン酸緩衝液

抽出窒素 (PEN) の $\delta^{15}\text{N}$ 値との相関が高く, 土壌窒素として植物が吸収していたのはリン酸緩衝液で抽出されるような比較的分解されやすいタンパク態窒素が含まれた画分であることが, これら窒素安定同位体比の解析からも推察された. PENが多く残存している場合, 第1作の栽培においては, 植物体はその窒素を吸収するために,  $\delta^{15}\text{N}$ 値による施肥履歴判別を困難にさせる. しかし, PENの $\delta^{15}\text{N}$ 値とその量, 施肥した肥料の $\delta^{15}\text{N}$ 値とその量から, 果実の $\delta^{15}\text{N}$ 値を精度良く推定することができた ( $R=0.896$ ). これらの情報はより正確な施肥履歴の推定のために必要な情報である.

## 引用文献

- 1) 藤原俊六郎・安西徹郎・加藤哲郎 (1996): 土壌診断に求められるもの. 土壌診断の方法と活用. 農文協. 14-19.
- 2) Georgi, M., S., Voerkelius, A., Rossmann, J., Grobmann, W. H., Schnitzler (2005): Multielement isotope ratios of vegetables from integrated and organic production. *Plant and Soil*, 275, 93-100.
- 3) 樋口太重 (1982): 緩衝液で抽出される有機窒素化合物の性質について. 土肥誌, 53, 1, 1-5.
- 4) 伊藤秀文・荒木浩一 (1984): 施設トマト栽培土壌における施肥窒素の収支に関する一考察. 野菜試験場報告. A.12, 131-139.
- 5) 中野明正・上原洋一・渡邊功 (2002): 有機農産物認証を受けた果菜類の $\delta^{15}\text{N}$ 値. 土肥誌, 73, 307-309.
- 6) Nakano, A., Y., Uehara and A., Yamauchi. (2003): Effect of organic and inorganic fertigation on yields,  $\delta^{15}\text{N}$  values and  $\delta^{13}\text{C}$  values of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Saturn). *Plant and Soil*, 255, 343-349.
- 7) 中野明正・上原洋一 (2004): 有機肥料で栽培した野菜と化学肥料で栽培した野菜とを判別する基準としての窒素安定同位体比の適用. 野菜茶研研報, 3, 119-128.
- 8) 中野明正・畑中義生・上原洋一・原川勝好・中安孝之 (2005): 窒素安定同位体比を用いた有機茶の判別およびアミノ酸・繊維含量と粗茶価格との関係. 農業および園芸, 80, 363-367.
- 9) 中野明正・上原洋一 (2006): イチゴの $\delta^{15}\text{N}$ 値に及ぼす肥料および土壌窒素の影響. 野菜茶研研報, 5, 7-13.
- 10) Nakano, A., Y. Uehara. (2007): Effect of different kinds of fertilizer and application methods on  $\delta^{15}\text{N}$  values of tomato. *JARQ*, 41, 219-226.
- 11) Nishida, M., K., Iwaya, H., Sumida and N., Kato. (2007): Changes in natural  $^{15}\text{N}$  abundance in paddy soils under different, long-term soil management regimes in Tohoku region of Japan. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 53, 310-317.
- 12) 西尾道徳 (2007): これまでの肥効率の問題点と新しい基準値の提案. pp141-143. 堆肥・有機質肥料の基礎知識. 農文協. 東京.
- 13) 棚橋寿彦, 矢野秀治 (2004): 鶏ふん堆肥の窒素含量に基づく肥効推定法. 土肥誌, 75, 257-260.
- 14) 和田英太郎 (2002): 窒素安定同位体比と負荷源の特定. pp632-634. 植物栄養・肥料の事典. 朝倉書店. 東京.

# Effect of Fertilizer on the $\delta^{15}\text{N}$ Values of Tomato Cultivated in 12 Prefectures in Japan: Analysis Among Different Experimental Sites

Akimasa Nakano and Yoichi Uehara

## Summary

The correlation coefficient between  $\delta^{15}\text{N}$  values of fruits and phosphate buffer extracted nitrogen from the soil (PEN) ( $R=0.931$ ) was higher than the total nitrogen ( $R=0.692$ ) in the tomato cultivated without fertilizer. This meant that the plant absorbed the easily digested PEN in the soil nitrogen. In some cases the origin of the PEN was unknown, that is on the first cultivation with organic fertilization or chemical fertilization, PEN affected the  $\delta^{15}\text{N}$  values of the tomato making it difficult to identify the fertilization record by using  $\delta^{15}\text{N}$ . However in those cases, the amount and  $\delta^{15}\text{N}$  value of PEN were determined, and the  $\delta^{15}\text{N}$  values of the fruits were identified more precisely ( $R=0.896$ ). These data were necessary to provide a more precise analytical method based on the fertilizer record identification.