

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

中野 明正・上原 洋一

(平成 15 年 11 月 7 日受理)

Application of Nitrogen Stable Isotope Ratio as an Indicator for Organic Fertilized Vegetables

Akimasa NAKANO and Yoichi UEHARA

Synopsis

Eighty-nine percent of organic fertilized or certified vegetables from the markets or provided from the prefectural or national agricultural stations showed values of $\delta^{15}\text{N}$ higher than $+4\text{‰}$, while 37% of the vegetables which were not organic fertilized or certified vegetables showed values of $\delta^{15}\text{N}$ higher than $+4\text{‰}$ (29 kinds of vegetable, 235 samples).

These results suggested the possibility to apply $\delta^{15}\text{N}$ values as an indicator for certification of vegetables grown only with organic fertilizer.

Key words: Organic product, $\delta^{15}\text{N}$ value, market management, certification, environmentally conscious agriculture

I 緒 論

JAS 法の改正により 2001 年 4 月から有機農産物（無農薬かつ無化学肥料）の認証制度が開始されたが、輸入有機農産物からの農薬の検出や、偽りの有機農産物の出廻りなどの問題が発生した。これらによる消費者の有機食品表示に対する不信感の高まりから、有機農産物の科学的判別技術の確立が早急に求められている。現在、農薬使用の判別については残留農薬の分析手法が適用されているが、化学肥料使用の判別については、未だ判別手法が確立されていない。従って、何らかの分析的判別法を開発する必要があると考え、予備的な実験を実施した。その結果、有機農産物認証を受けた果菜類の $\delta^{15}\text{N}$ 値が表示の無い農産物に比べ高い値をとり、 $\delta^{15}\text{N}$ 値を用いた判別の可能性が明らかとなった。

$\delta^{15}\text{N}$ 値とは、試料の ^{15}N と ^{14}N の比（R sample）

と標準試料（大気中の窒素）のその比（R standard）から、次の式（ $\delta^{15}\text{N} = [\text{R sample}/\text{R standard} - 1] \times 1000 (\text{‰})$ ）で計算され（米山ら, 1994）、主に生態学の実験分野で窒素動態の研究に用いられている。現在までに、有機農産物を化学肥料で栽培した農産物と見分ける目的で、 $\delta^{15}\text{N}$ 値を測定したところ、供試した 5 種類の果菜類（トマト、キュウリ、ナス、シシトウ、カボチャ）すべてにおいて、有機農産物と表示された試料の $\delta^{15}\text{N}$ 値が、同表示のない試料の値に比べ高かった（中野ら, 2002）。しかしながら、これらの結果を実際の生産・流通現場へ利用できる判定基準値とするためには、様々な栽培法および、より多くの品目について $\delta^{15}\text{N}$ 値を測定し、結果を集積し解析する必要がある。

本研究では、前報（中野ら, 2002）より調査範囲を広げ、施肥履歴が明らかである野菜販売企業や公立試験研究機関などで栽培された野菜の試料を収集し分析した。多品目の有機野菜および慣行栽培野菜について $\delta^{15}\text{N}$ 値

の分析を行うことにより、 $\delta^{15}\text{N}$ 値の有機農産物判別基準値としての有効性および適用範囲を明らかにし、有機農産物の市場管理指標への早期実用化に資するものとした。

本研究の遂行にあたり、実験試料を提供して頂いた、イオン株式会社植原千之氏、大分県農業技術センター奈良絵美氏、福岡県総合農業試験場満田幸恵氏、山口県農業試験場中野良正氏、三重県科学技術振興センター小西信幸氏、石川県農業総合研究センター橋本尚氏、窪田泰之氏、JA 全農の林康人氏に感謝の意を表します。

II 材料および方法

1 市場から購入した試料

全国展開大型スーパーマーケット A の契約農家からの野菜試料 35 点、市場で購入した野菜試料 71 点、合計 106 点の試料を得た（表-1）。野菜試料の生産地域は、18 県と中国産の計 19 地域から、また、野菜の種類としては 25 品目であった。そのうち、有機栽培（農薬を使用した無化学肥料栽培を含む）は、46 点あり、表示なしの試料は 60 点であった。

2 民間、公立研究所および野菜茶業研究所において栽培された試料

民間、公立研究所（施設または露地、隔離床または非隔離床）および野菜茶業研究所（施設、隔離床）において栽培された、野菜の種類および施肥条件等を表-2 に示す（129 点、7 品目）。民間からは JA 全農の肥料研究室（施設、隔離床）から試料の提供を受け、公立研究機関からは大分県農業技術センター（施設）、福岡県総合農業試験場（施設）、三重県科学技術振興センター（露地）、石川県農業総合研究センター（トマトは施設、その他の野菜は露地）から試料の提供を受けた。それぞれ、化学肥料を施用する慣行的に行われる栽培区と、有機物施用区または、施肥効率がよく環境保全型農業とされる養液土耕栽培区（林ら、2003）が設定された。これらの区を相互に比較する形で試験が行われた圃場からの生産物を分析に用いた。

3 野菜および肥料の $\delta^{15}\text{N}$ 値と窒素濃度の分析

冷蔵送付された野菜試料および圃場から採取した野菜試料を縮分して凍結乾燥し、乳鉢で微粉碎して分析試料とした。肥料についても同様の処理をした。その後、野菜および肥料の試料をスズカプセルに封入し、質量分析計（ANCA-SL, Europa 社製）によって $\delta^{15}\text{N}$ 値および

窒素含量を測定した。この分析については日本酸素株式会社に依頼した。

III 結果および考察

1 市場試料における $\delta^{15}\text{N}$ 値の分布

有機農産物の場合、野菜の $\delta^{15}\text{N}$ 値は +5.0‰ 以上の値を取ることが予想されていたが（NAKANO ら、2003；中野ら、2002；中野ら、2003）、今回適用範囲を広げて行った場合も、ほぼ同様の結果が得られ（図-1）、有機農産物表示（農薬を使用した無化学肥料栽培を含む）のあった試料の 71.7% が +5.0‰ 以上の値を取った。表示なしの試料ではその割合が 31.7% であった。

基準値を +4.0‰ に設定した場合は、有機農産物表示（農薬を使用した無化学肥料栽培を含む）のあった試料の 80.4% が +4.0‰ 以上の値を取り、表示なしの試料は 45% となった。以上の結果から、 $\delta^{15}\text{N}$ 値の基準値を適切に設定することにより、化学肥料使用の有無の真偽の判定に利用することが可能であると考えられた。例えば、「 $\delta^{15}\text{N}$ 値 = +4.0‰ を有機農産物判別の基準値として、この値以下であれば詳細な調査を実施する必要がある」という制度を作ることが可能かと考えられる。現在までは、このような基準値が無かったため、聞き取り調査等に頼らざるを得ず、科学的な判断材料が少なかったが、このような手法があることを公表することにより、有機農産物の偽装表示に対する抑止力となり、より健全な有機農業を推進することができると考えられる。

2 民間、公立研究所および野菜茶業研究所において栽培された試料の $\delta^{15}\text{N}$ 値

a メロンの $\delta^{15}\text{N}$ 値に与える養液土耕栽培の影響

表-3 に示すように、養液土耕と慣行栽培双方とも $\delta^{15}\text{N}$ 値は 0.0‰ 以下の低い値であった。化学肥料を用いた養液土耕において、 $\delta^{15}\text{N}$ 値がマイナス数‰ の値を取ることは、すでに報告されているが（NAKANO ら、2003）、緩効性肥料を基肥とした慣行栽培においても値が低くなった。化学肥料に由来する窒素の吸収量が多いとそれを反映して、植物体の $\delta^{15}\text{N}$ 値も 0‰ に近づくと考えられる。

今回、主に緩効性肥料を用いた慣行区において、速効性化学肥料（くみあい 燐硝安加里 S604）で生育させたメロン果実の $\delta^{15}\text{N}$ 値が +1.6‰ の値であったのに対して（中野ら、2002）、より低い -1.6‰ であった。隔離床栽培であったため土壌の地力窒素の影響を受けにくく、か

つ施肥効率が高い緩効性肥料を用いた栽培条件であったことが、メロン果実の $\delta^{15}\text{N}$ 値の低下をもたらしたと考えられた。

b トマトの $\delta^{15}\text{N}$ 値に与える化学肥料および養液土耕栽培の影響

表-4 に基肥で化学肥料を与えた場合と養液土耕で化

学肥料を与えた場合のトマト果実の $\delta^{15}\text{N}$ 値を示した。化学基肥施肥においては $\delta^{15}\text{N}$ 値が+4.0‰前後の値を取り、無機養液土耕においてそれより低い値を取ることは、前報（NAKANOら，2003）同様であった。果実の窒素含量は、慣行の化学肥料施用よりも養液土耕区で高く、窒素の利用効率の高さを反映する可能性が考えられた。ま

表-1 試料として用いた市場野菜の有機表示の有無と産地

道県名	有機表示の有無 (1:有, 0:無)	無化学肥料表示の有無 (1:有, 0:無)	野菜名	表示情報
北海道	0	0	カボチャ	減農薬栽培
北海道	0	0	ジャガイモ	減農薬栽培
北海道	0	0	白ネギ	慣行栽培
北海道	0	0	白ネギ	減農薬栽培
北海道	0	0	トマト	減農薬栽培
北海道	0	0	軟白ネギ	減農薬栽培
北海道	0	0	ニンジン	減農薬栽培
北海道	0	0	ピーマン	減農薬栽培
北海道	0	0	ピーマン	減農薬栽培
北海道	1	1	ニンジン	
青森	0	1	ジャガイモ	無化学肥料・減農薬栽培
福島	0	0	キュウリ	減農薬栽培
福島	0	0	キュウリ	減農薬栽培
栃木	0	0	イチゴ	減農薬栽培
栃木	0	0	イチゴ	慣行栽培
栃木	0	0	トマト	減農薬栽培
栃木	0	0	トマト	慣行栽培
栃木	0	0	ナス	減農薬栽培
栃木	0	0	ナス	慣行栽培
栃木	0	0	ミニトマト	減農薬栽培
栃木	0	0	ミニトマト	慣行栽培
栃木	1	1	レタス	
千葉	0	1	ピーマン	無化学肥料
千葉	0	1	ピーマン	無化学肥料
千葉	0	1	ピーマン	無化学肥料
長野	0	0	モヤシ	
岐阜	1	1	トマト	
愛知	0	0	ナス	
愛知	0	0	ナス	
愛知	0	0	ナス	
奈良	0	0	コマツナ	慣行栽培
奈良	0	0	ホウレンソウ	慣行栽培
奈良	1	1	コマツナ	
奈良	1	1	コマツナ	
奈良	1	1	ホウレンソウ	
奈良	1	1	ホウレンソウ	
和歌山	0	0	タマネギ	減農薬栽培
島根	1	1	コマツナ	
島根	1	1	ホウレンソウ	
山口	0	0	インゲン	
山口	0	0	キュウリ	
山口	0	0	コマツナ	
山口	0	0	ナス	
山口	0	0	ピーマン	
山口	0	0	ホウレンソウ	
山口	1	1	インゲン	無農薬・無化学肥料栽培
山口	1	1	キュウリ	無農薬・無化学肥料栽培
山口	1	1	ナス	無農薬・無化学肥料栽培
山口	1	1	ピーマン	無農薬・無化学肥料栽培

表-1 試料として用いた市場野菜の有機表示の有無と産地（続き）

県名 (国名)	有機表示の有無 (1:有, 0:無)	無化学肥料表示の有無 (1:有, 0:無)	野菜名	表示情報
高知	0	0	ショウガ	減農薬栽培
高知	0	0	ショウガ	慣行栽培
福岡	0	0	サラダ菜	慣行栽培
福岡	0	1	チンゲンサイ	無化学肥料栽培
福岡	0	0	葉味ネギ	
福岡	1	1	サラダ菜	
佐賀	0	0	カボチャ	
佐賀	0	0	カボチャ	
佐賀	0	0	カボチャ	
熊本	0	0	キュウリ	
熊本	0	0	キュウリ	
熊本	0	0	キュウリ	
熊本	0	1	ゴボウ	無化学肥料栽培
熊本	0	1	サツマイモ	無化学肥料栽培
熊本	0	1	白ネギ	無化学肥料栽培
熊本	0	0	トマト	特別栽培
熊本	0	0	トマト	慣行栽培
熊本	0	0	トマト	
熊本	0	0	トマト	
熊本	0	0	ナス	
熊本	0	0	ナス	
熊本	0	0	ナス	
熊本	0	0	ニンジン	有機転換中
熊本	0	1	ピーマン	無化学肥料栽培
熊本	0	0	ピーマン	
熊本	0	0	ピーマン	
熊本	0	0	ピーマン	
熊本	1	1	カボチャ	
熊本	1	1	カボチャ	
熊本	1	1	カボチャ	
熊本	1	1	キュウリ	
熊本	1	1	キュウリ	
熊本	1	1	キュウリ	
熊本	1	1	シシトウ	
熊本	1	1	シシトウ	
熊本	1	1	シシトウ	
熊本	1	1	トマト	
熊本	1	1	トマト	
熊本	1	1	トマト	
熊本	1	1	ナス	
熊本	1	1	ナス	
熊本	1	1	ナス	
熊本	1	1	ピーマン	
熊本	1	1	ピーマン	
熊本	1	1	ピーマン	
熊本	1	1	ミニトマト	
大分	0	0	ピーマン	慣行栽培
宮崎	0	1	サトイモ	無化学肥料栽培
宮崎	0	0	シシトウ	
宮崎	0	0	シシトウ	
宮崎	1	1	ゴボウ	
宮崎	1	1	サトイモ	
(中国)	0	0	白ネギ	
(中国)	0	0	モヤシ	
(中国)	1	1	落花生	有機落花生

表-2 試料として用いた栽培試験野菜の施肥栽培条件

試験場所	野菜名	処理区	施肥条件
JA 全農肥料研究室	メロン ^Z	化学肥料区（慣行）	基肥で硝安 2gN/株, ロング 8gN/株
		化学肥料液肥追肥区	基肥で硝安 2gN/株, 養液土耕 3号 8gN/株
石川県農業総合研究センター	トマト ^Y	化学肥料区（慣行）	リン硝安カリ S604 (16-10-14) 20kg/10a, 固形 30号 (10-10-10) 120kg/10a, 熔燐 (P20) 36kg, 液肥 2号 30kg
		養液土耕（少量土耕）定植 14~40日 (4/2~4/28) は養液土耕 5号 (12-20-20), その後は養液土耕 2号 (14-8-25) を使用, 10a 当たり窒素 1 日施用量	一定量区: 0.23kgN (4/2~6/28) 変量 A 区: 0.18kgN (4/2~4/27), 0.29kgN (4/28~6/4), 0.18kgN (6/5~6/28) 変量 B 区: 0.13kgN (4/2~4/27), 0.29kgN (4/28~6/4), 0.14kgN (6/5~6/28)
	キャベツ ^X	慣行区（化学+有機区）	牛糞連用 2 t + 粒状固形 30号 100kg + 尿素化成日の本 2号 70kg + 有機化成特 A810, 150kg/10a
		減化学肥料区	牛糞連用 2 t / 10a + 50%減肥区
		有機質肥料区	牛糞連用 2 t / 10a
	ブロッコリー ^W	化学肥料区（慣行）	B.B.442-F70 140kg, 熔燐 40kg/10a
		有機質肥料区	乾燥鶏糞 450kg + 菜種油粕 300kg/10a
	キャベツ ^V	無肥料区	
		化学肥料区	無窒素, PK40号 + 苦土石灰 ロング 40日タイプ 170kg + 高度園芸 30kg/10a 鶏糞 + 豚糞粗穀堆肥（中熟）0.7 t + 豚糞 1.5 t / 10a 鶏糞 + 豚糞粗穀堆肥（完熟）0.7 t + 豚糞 1.5 t / 10a 有機質肥料区 鶏糞 + 豚糞おがくず堆肥（中熟）0.7 t + 豚糞 1.5 t / 10a 鶏糞 + 豚糞おがくず堆肥（完熟）0.7 t + 豚糞 1.5 t / 10a 鶏糞 0.7 t / 10a
		無施肥区	
		慣行区（化学+有機区）	ロング 140日タイプ (14-14-14) 64kg/10a, 有機配合 1 (6-7-5) 400kg/10a, 有機配合 2 (6-7-2) 350kg/10a
		養液土耕区	減肥無し: 液肥特 2号 (10-4-8) 74kgN/10a 50%減肥区: 液肥特 2号 (10-4-8) 37kgN/10a
福岡県農業総合試験場	ナス ^U	慣行区（化学+有機区）	ロング 140日タイプ (14-14-14) 64kg/10a, 有機配合 1 (6-7-5) 400kg/10a, 有機配合 2 (6-7-2) 350kg/10a
		養液土耕区	減肥無し: 液肥特 2号 (10-4-8) 74kgN/10a 50%減肥区: 液肥特 2号 (10-4-8) 37kgN/10a
大分県農業技術センター	トマト ^T	化学養液土耕区	OK-F-3 (14-8-25) 50.9kgN/10a
		有機養液土耕区	焼酎カス 27.1kgN/10a
野菜茶業研究所	トマト ^S	CDU 区	CDU 化成, 60g/株
		LSR 区	LSR 化成, 72g/株
		牛糞・CDU 区	牛糞堆肥 + CDU 化成, 875 + 30g/株
		鶏糞・CDU 区	鶏糞堆肥 + CDU 化成, 438 + 30g/株
		牛糞・鶏糞区	牛糞堆肥 + 鶏糞堆肥, 875 + 438kg/株
	トウモロコシ ^S	CDU 区	CDU 化成, 60g/株
		LSR 区	LSR 化成, 72g/株
		牛糞・CDU 区	牛糞堆肥 + CDU 化成, 875 + 30g/株
		鶏糞・CDU 区	鶏糞堆肥 + CDU 化成, 438 + 30g/株
		牛糞・鶏糞区	牛糞堆肥 + 鶏糞堆肥, 875 + 438kg/株
	エダマメ ^S	CDU 区	CDU 化成, 60g/株
		LSR 区	LSR 化成, 72g/株
		牛糞・CDU 区	牛糞堆肥 + CDU 化成, 875 + 30g/株
		鶏糞・CDU 区	鶏糞堆肥 + CDU 化成, 438 + 30g/株
		牛糞・鶏糞区	牛糞堆肥 + 鶏糞堆肥, 875 + 438kg/株
	トマト ^R	化学養液土耕区	OK-F-1 (15-8-17) 82g/株
		有機養液土耕区	コーンスティープリカー (CSL) 402 g/株

結果は以下に示すそれぞれの表に対応している。Z: 表 3, Y: 表 4, X: 表 5, W: 表 6, V: 表 7, U: 表 8, T: 表 9, S: 表 10, R: 表 11

た、吸収の盛んになる定植後41日以降に施用濃度を上昇させると果実の窒素濃度が上昇すると考えられた。このときの $\delta^{15}\text{N}$ 値は、一定濃度で窒素を施用する場合よりも肥料そのものの $\delta^{15}\text{N}$ 値を反映して0‰に近くなった（NAKANOら, 2003）。これらは、作物の吸収特性に合わせた施用により施肥効率が上昇している可能性を示唆している。これらの施肥パターンと $\delta^{15}\text{N}$ 値に関する知見は、環境保全的な施肥法を評価するうえでも参考となるものと考えられた。

c キャベツの $\delta^{15}\text{N}$ 値に与える化学肥料および有機肥料の影響 (1)

有機肥料区のキャベツの $\delta^{15}\text{N}$ 値は+5.4‰であり、慣行区の値+4.4‰に比べ高い値となった（表-5）。慣行

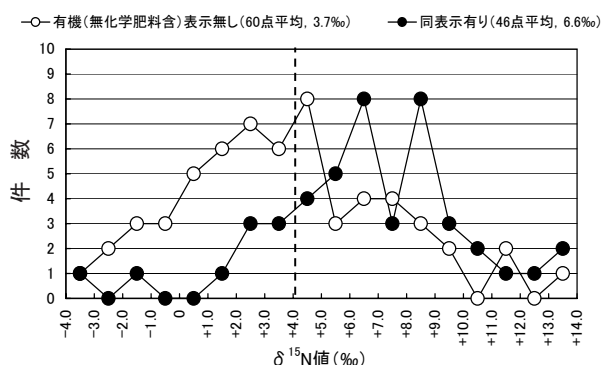


図-1 有機農産物表示（無化学肥料表示を含む）の有無と野菜の $\delta^{15}\text{N}$ 値（市場試料）

表-3 施肥がメロン果実の $\delta^{15}\text{N}$ および窒素濃度に与える影響

施 肥	果実の $\delta^{15}\text{N}$ 値 (‰)	果実の窒素濃度 (g kg^{-1})
慣行栽培	-1.6 ± 0.1	18.7 ± 1.4
養液土耕	-1.6 ± 0.2	19.2 ± 1.0

n=3, 平均値±標準偏差

表-4 施肥がトマト果実の $\delta^{15}\text{N}$ および窒素濃度に与える影響

施 肥	果実の $\delta^{15}\text{N}$ 値 (‰)	果実の窒素濃度 (g kg^{-1})
化学肥料区	4.5 ± 0.2	12.9 ± 0.1
養液土耕一定区	1.1 ± 0.1	14.9 ± 0.2
養液土耕変量A区	-0.1 ± 0.0	21.0 ± 0.2
養液土耕変量B区	0.7 ± 0.2	17.3 ± 0.1

n=3, 平均値±標準偏差, 施肥の説明は表-2 参照

区においても牛糞堆肥を施用しているため、双方の差は小さかった。一方で、50%減化学肥料施用を行った場合、 $\delta^{15}\text{N}$ 値は化学肥料に近い+3.7‰となった。また、収穫物中の窒素濃度の減少が生じておらず、減肥をした方が化学肥料の利用効率が高くなることを示す可能性が考えられた。

また、有機肥料区の値が+5.4‰と比較的低いことについて、初期に有機物由来の窒素成分が溶脱していた可能性があり、施用した有機物の高い $\delta^{15}\text{N}$ 値の値（中野ら, 2003）が反映されなかったと考えられる。

本実験も、溶脱の無い施設圃場において、隔離床で連作をしていった場合、 $\delta^{15}\text{N}$ 値において施肥と生産物の値の相関がより高くなり（中野ら, 2003）、減化学肥料区は、化学肥料区と有機肥料区の間値になると予想される。

d ブロッコリーの $\delta^{15}\text{N}$ 値に与える化学肥料および有機肥料の影響

ブロッコリーの場合、有機肥料を与えた場合の $\delta^{15}\text{N}$ 値は+5.8‰と、化学肥料のみを与えた場合の-4.0‰に比べ高い値となった（表-6）。降雨に由来する $\delta^{15}\text{N}$ 値は0.0‰以下になるため、より低い $\delta^{15}\text{N}$ 値の窒素源からの窒素供給が考えられる他、この化学肥料区では肥料そのものの $\delta^{15}\text{N}$ 値が低かった可能性も考えられた。また、有機肥料区の値が+5.8‰と比較的低いのは、用いた有機肥料が牛糞堆肥などに比べ $\delta^{15}\text{N}$ 値が低いとされる菜種かす（森田ら, 1999）を利用したこと、前述と同様に露地栽培のために窒素が溶脱した可能性も考えられる。

表-5 施肥がキャベツの $\delta^{15}\text{N}$ および窒素濃度に与える影響

施 肥	$\delta^{15}\text{N}$ 値 (‰)	窒素濃度 (g kg^{-1})
慣行区（化学+有機区）	4.4 ± 0.1	23.3 ± 0.5
50%減化学肥料区	3.7 ± 0.0	23.2 ± 0.0
有機肥料区（100%減肥区）	5.4 ± 0.4	17.2 ± 3.0

n=2, 平均値±標準偏差

表-6 施肥がブロッコリーの $\delta^{15}\text{N}$ および窒素濃度に与える影響

施 肥	$\delta^{15}\text{N}$ 値 (‰)	窒素濃度 (g kg^{-1})
化学肥料区（慣行区）	-4.0 ± 3.5	63.8 ± 0.4
有機肥料区	5.8 ± 1.9	60.5 ± 0.6

n=3, 平均値±標準偏差

e キャベツの $\delta^{15}\text{N}$ 値に与える化学肥料および有機肥料の影響 (2)

有機肥料を与えたキャベツの $\delta^{15}\text{N}$ 値は+5.1~8.6‰であり、化学肥料のみを与えた場合の+2.1‰に比べ高い値となった(表-7)。堆肥の $\delta^{15}\text{N}$ 値は、種類や熟度によっても変化するため(倉持, 1999)、堆肥の性質を反映した変動と考えられた。また、無肥料で育てた場合の $\delta^{15}\text{N}$ 値は+8.3‰、窒素のみを除いて施用した場合の $\delta^{15}\text{N}$ 値は+5.6‰となり化学肥料の $\delta^{15}\text{N}$ 値よりも高くなった。これは、地力窒素を吸収して生育したためと考えられた。

f ナスの $\delta^{15}\text{N}$ 値に与える化学肥料および養液土耕栽培の影響

表-8に、基肥で化学と有機肥料を与える慣行区と、養液土耕で化学肥料を与え減肥率を変えた処理区のナス果実の $\delta^{15}\text{N}$ 値を示した。慣行区においては $\delta^{15}\text{N}$ 値が+2.5‰前後の値を取った。この区では有機肥料も添加されているが、一般に $\delta^{15}\text{N}$ 値が高い堆肥由来の有機態窒素の含有割合が低いものであると考えられる(中野ら 2003)。無機養液土耕において化学基肥区の $\delta^{15}\text{N}$ 値より低い値を取ることは、すでに報告した事例と同様の結果(NAKANOら, 2003)であり、トマトにおいて表-4

表-7 施肥がキャベツの $\delta^{15}\text{N}$ および窒素濃度に与える影響

施 肥	$\delta^{15}\text{N}$ 値 (‰)	窒素濃度 (g kg^{-1})
無肥料区	8.3 ± 0.1	33.1 ± 0.36
化学肥料区(無窒素区)	5.6 ± 0.1	18.2 ± 1.22
化学肥料区	2.1 ± 0.0	25.6 ± 0.04
鶏糞初穀堆肥(中熟)区	6.4 ± 0.1	31.4 ± 0.18
鶏糞初穀堆肥(完熟)区	8.6 ± 0.1	40.1 ± 1.18
鶏糞おがくず堆肥(中熟)区	5.8 ± 0.1	35.9 ± 0.50
鶏糞おがくず堆肥(完熟)区	5.8 ± 0.1	37.9 ± 0.96
鶏糞区	5.1 ± 0.1	22.8 ± 1.20

n=2, 平均値±標準偏差

表-8 施肥がナスの $\delta^{15}\text{N}$ および窒素濃度に与える影響

施 肥	$\delta^{15}\text{N}$ 値 (‰)	窒素濃度 (g kg^{-1})
無肥料区	2.9 ± 0.2	20.6 ± 1.2
慣行区(化学+有機区)	2.5 ± 0.1	22.3 ± 1.6
養液土耕減肥無し区	-1.5 ± 0.2	22.1 ± 1.9
養液土耕 50%減肥	-0.3 ± 0.5	20.6 ± 1.0

n=3, 平均値±標準偏差

に示した傾向と同じであった。養液土耕で栽培されたナスは、慣行区より低い $\delta^{15}\text{N}$ 値を示しているため、無肥料栽培で認められる比較的高い $\delta^{15}\text{N}$ 値の地力窒素の吸収が抑制されていると考えられた。すなわち養液土耕は、化学肥料の吸収効率が良い栽培形態である可能性が $\delta^{15}\text{N}$ 値からも示唆され、この値が環境保全的な施肥法を評価する上でも参考となる数値と考えられた。

g 焼酎カス施用がトマトの $\delta^{15}\text{N}$ 値に与える影響

表-9に化学肥料(OK-F-3)および有機性液肥である焼酎カス液肥の施用がトマトの $\delta^{15}\text{N}$ 値に与える影響を比較した結果を示した。化学肥料を用いた養液土耕による生産物の $\delta^{15}\text{N}$ 値は、トマト(表-4)や、ナス(表-8)で示したものに比べ、+2.8‰とやや高い値であった。これが濃度や施肥回数などの施肥法および土壌環境の違いによる結果なのか否かは今後検討する必要がある。焼酎カス液肥で生育させたトマトの $\delta^{15}\text{N}$ 値は+4.7‰を示し、養液土耕の+2.8‰に比べ高い値であった。植物由来の本資材(焼酎カス液肥)そのものの $\delta^{15}\text{N}$ 値は+2.8‰と、牛糞や鶏糞堆肥などの他の有機質資材の値(牛糞堆肥: +16.7‰, 鶏糞堆肥: +20.8‰, 中野ら, 2003)や、コーンステーパーリカー(CSL: +8.5‰)やメタン消化液(+7.6‰)などの有機性液肥の値(中野・上原, 2002)に比べても低かった。このような資材を用いて栽培した場合、生産物の $\delta^{15}\text{N}$ 値も、例示したその他の資材と比べ低い値となり、 $\delta^{15}\text{N}$ 値を用いる判別技術を市場管理に適用する場合に注意を要する。

h トマト, エダマメ, トウモロコシの $\delta^{15}\text{N}$ 値に与える化学肥料および有機肥料の影響

表-10に、化学肥料および有機肥料また、化学肥料と有機肥料の混合施用が、トマト, エダマメ, トウモロコシの $\delta^{15}\text{N}$ 値に与える影響を示した。圃場は10年以上ほぼ同じ管理を行っており、窒素環境も定常化していると考えられる。しかも、降雨が遮断された施設内で地下部も隔離して連用試験が行われているため、収穫物の $\delta^{15}\text{N}$ 値への施肥窒素の影響が現れ易い環境と考えられた。施肥が収穫物の $\delta^{15}\text{N}$ 値に与える影響の傾向は3種

表-9 焼酎カス液肥施用がトマト果実の $\delta^{15}\text{N}$ 値および窒素濃度に与える影響

施 肥	肥料の $\delta^{15}\text{N}$ 値 (‰)	果実の $\delta^{15}\text{N}$ 値 (‰)	果実の窒素濃度 (g kg^{-1})
OK-F-3 区	$-0.2 \pm 0.4^*$	2.8 ± 0.2	13.3 ± 1.1
焼酎カス区	2.8 ± 0.3	4.7 ± 0.2	14.6 ± 1.2

*: OK-F-1の値を参考値として記した

n=3, 平均値±標準偏差

表-10 施肥がトマト、エダマメ、トウモロコシの収穫物の $\delta^{15}\text{N}$ および窒素濃度に与える影響

	施 肥	$\delta^{15}\text{N}$ 値 (‰)	窒素濃度 (g kg ⁻¹)
トマト	CDU 区	4.5±3.1	15.6±1.6
	LSR 区	3.5±1.1	11.5±3.7
	牛糞・CDU 区	12.2±0.3	12.5±1.2
	鶏糞・CDU 区	10.2±0.5	14.8±4.9
	牛糞・鶏糞区	16.9±0.4	12.8±2.0
エダマメ	CDU 区	7.4±0.7	55.6±4.0
	LSR 区	2.8±0.7	54.3±1.1
	牛糞・CDU 区	12.2±0.0	59.2±4.8
	鶏糞・CDU 区	11.8±0.3	49.7±12.4
	牛糞・鶏糞区	17.1±0.0	63.0±7.9
トウモロコシ	CDU 区	11.0±1.6	24.2±3.0
	LSR 区	4.8±0.6	23.7±0.3
	牛糞・CDU 区	12.4±0.2	24.3±0.2
	鶏糞・CDU 区	13.5±0.7	25.2±0.3
	牛糞・鶏糞区	17.1±0.1	24.8±1.1

n=2, 平均値±標準偏差

の野菜で同等と判断された。すなわち、CDU や LSR などの化学肥料区では、野菜の種類や処理区間等で+2.8~11.0‰とばらついてはいるが、その値は他の施肥区に比べて低かった。一方、有機肥料のみの牛糞・鶏糞区で+17.0‰前後の高い値を示し、化学肥料と有機肥料を混合した区では、+10.2~13.5‰とそれぞれの中間の値を示した。エダマメは窒素固定を行うため、異なる傾向を示すことも考えられたが、施肥窒素の影響の方が大きいことが明らかとなった。

トウモロコシの CDU 区で $\delta^{15}\text{N}$ の値が他の作物に比べて特に大きかった。この傾向は、他の区についても、化学肥料を含む区については同様であった。地力窒素と化学肥料由来の窒素が共存した場合、トウモロコシにとって肥料の窒素は濃度が高すぎて吸収できなかったか、あるいは、地力窒素の方を優先的に吸収するような特性がある可能性も考えられた。

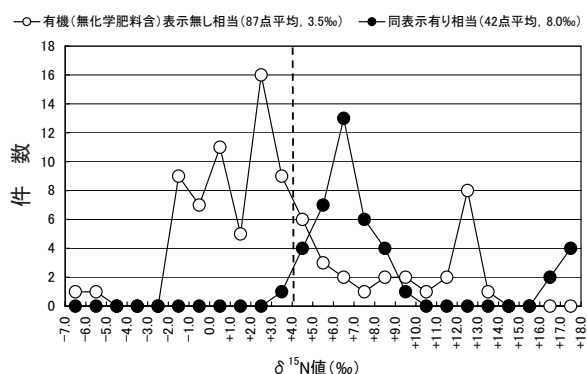
i トマトの $\delta^{15}\text{N}$ 値に与えるコーンステーパーリカー (CSL) の影響

表-11 に化学肥料 (OK-F-1) を用いた養液土耕および CSL を用いた有機養液土耕がトマトの $\delta^{15}\text{N}$ 値に与える影響を示した。ほぼ、前報 (NAKANOら, 2003) と同様に無機養液土耕は+1.0‰前後の低い値を示し、CSL は液肥の値である+8.5‰を反映して、+7.2‰であった。有機性の液肥においても、資材そのものの $\delta^{15}\text{N}$ 値が高いものは収穫物もそれを反映した値となることが示さ

表-11 無機および有機養液土耕がトマトの $\delta^{15}\text{N}$ および窒素濃度に与える影響

施 肥	$\delta^{15}\text{N}$ 値 (‰)	窒素濃度 (g kg ⁻¹)
無機養液土耕区	1.1±1.2	18.2±2.0
有機養液土耕区	7.2±0.9	16.6±0.9

n=18, 平均値±標準偏差

図-2 有機相当野菜（無化学肥料栽培を含む）と慣行栽培相当野菜の $\delta^{15}\text{N}$ 値（試験栽培試料）

れた。

以上、公立、民間研究所および野菜茶業研究所において栽培された試料の $\delta^{15}\text{N}$ 値についてまとめると、分析した全ての試料 129 点については、有機物施用区（有機農産物相当）の試料において、 $\delta^{15}\text{N}$ 値が+5.0‰以上の値を取る試料は 88.1%であり、化学肥料施用区（表示無しに相当）の試料では 25.3%であった（図-2）。基準値として+4.0‰を採用した場合は、有機物施用区で 97.6%が+4.0‰以上の値を取り、化学肥料施用区（表示無しに相当）は 32.2%であった。市場試料（図-1）に比べ施肥管理がより厳密であったため、より明確な結果になったと考えられた。

j 有機農産物の判別基準としての $\delta^{15}\text{N}$ 値

以上の結果を総合すると、 $\delta^{15}\text{N}$ 値を有機農産物の真偽の判断材料のひとつに利用することが可能であると考えられた。

化学肥料のみを施肥した区また有機農産物表示の無い野菜でも $\delta^{15}\text{N}$ 値が高い農産物があるが、これは施肥した化学肥料が効率的に吸収されず地力窒素を吸収した可能性、施肥窒素がアンモニア揮散や脱窒、また溶脱した可能性も考えられる。また、土作りを行うために有機物を施用する場合もあり、堆肥化過程を経たそれらの $\delta^{15}\text{N}$ 値の高い窒素を吸収した可能性が高い。従って、 $\delta^{15}\text{N}$ 値による基準値を設けるにしても、有機農産物とそうで

ないものを分ける基準としてでなく、偽装表示をした有機農産物を判定する根拠のひとつとして使用するべきである。

今回の結果を総合すると $\delta^{15}\text{N}$ 値で+4.0‰がそのような基準値として利用できる可能性が示唆された。品目毎、地域ごとに議論するには、適合する試料数が少なすぎるため、今後より体系的な試料の収集と分析が必要である。

しかし、今回の調査により、差異が明確化した部分がある。表-10に示した野菜茶業研究所で得られた結果は、肥料の $\delta^{15}\text{N}$ 値（中野ら、2003）と生産物の $\delta^{15}\text{N}$ 値の相関が高かった。これは降雨が遮断され、隔離床で根域が制限されている条件で栽培した結果のためと考えられる。すなわち、施肥窒素が系外に移動せず、根系が、施肥を反映した土壤中にのみ張っていたためと考えられた。

井戸や河川水などの窒素汚染源の特定に $\delta^{15}\text{N}$ 値が利用できる可能性が示されており（山田ら、1999）、水溶性の窒素のうち有機物由来の窒素の $\delta^{15}\text{N}$ 値は高く、化学肥料のものは低い。溶脱が少ないと、施肥窒素の影響が生産物に直接反映されやすくなると考えられた。従って、今後、施設生産において有機農業を行う農家が増えてきた場合、その判別は露地のものより容易になると考えられる。

家畜糞を中心とした堆肥のみで栽培した場合、生産物の $\delta^{15}\text{N}$ 値は+15.0‰を超えると推定したが、そうでない場合が認められた。このような結果は、施肥した窒素が溶脱し、より $\delta^{15}\text{N}$ 値の低い地力窒素を吸収した結果と考えられた。なお、溶脱した窒素は、環境を汚染した可能性も考えられる。

従って、単純に有機物を施用したから有機農産物と称している生産物と、施肥した窒素が系外に流れないように管理して生産された有機農産物とを、例えば $\delta^{15}\text{N}$ 値が+15.0‰という値で基準値を決めて判別できる可能性も示唆される。今後、今回の広範な試料調査から得られた知見に基づき、より明確な有機判別基準を策定することが求められる。さらに、環境保全的な施肥法の評価にも $\delta^{15}\text{N}$ 値を適用する研究が必要である。

この基準において注意すべき点を述べる。ひとつは、窒素固定を行うマメ科の作物残渣を鋤き込んだ場合、化学肥料を使用しない場合でも、 $\delta^{15}\text{N}$ 値が低下することが考えられ（YONEYAMAら、1986）、この+4.0‰という値が完全に有機農産物であることを保証する訳ではないということである。しかし、マメ科等の鋤き込みを別の手法で確認すれば $\delta^{15}\text{N}$ 値は有機農産物の判別に使用できる。

もうひとつは、使用する有機物によっても $\delta^{15}\text{N}$ 値は異なる点である。有機性の液肥であるCSLはその $\delta^{15}\text{N}$ 値が+8.5‰（NAKANOら、2003）であり、焼酎カス液肥の $\delta^{15}\text{N}$ 値は+2.8‰と家畜糞堆肥に比べ低い値を示す資料もある。表-11についても、CSLのみで栽培したトマトの $\delta^{15}\text{N}$ 値は+7.2‰、焼酎カス液肥で生育させたトマトの $\delta^{15}\text{N}$ 値は+4.7‰を示し、表-10で認められる全量家畜糞堆肥で生産したトマトの $\delta^{15}\text{N}$ 値+16.7‰に比べ低かった。これらの値は、暫定基準値である+4.0‰に比較的近いいため、判断が難しくなる場合も生じてくる可能性がある。

さらに、土壌によっても地力窒素の $\delta^{15}\text{N}$ 値がどの程度の幅を持っているのか不明な点が多い。異なる土壌に化学肥料および有機肥料を与えた場合の生産物の $\delta^{15}\text{N}$ 値の変動も併せて明らかにする必要がある。

以上のように、今後いくつかの検討すべき課題は残っているものの、結果を総合すると、 $\delta^{15}\text{N}$ 値からおおよそ90%の確度で有機物のみで栽培したかどうかを判定でき、厳密に管理された場合は、化学肥料と有機肥料の使用割合を推定できる可能性が示唆された。

IV 摘 要

有機農産物の場合、野菜の $\delta^{15}\text{N}$ 値は+5.0‰以上の値を取ることが予想されていたが、今回、試料を日本の18道県と中国（前報では3県）に、分析した野菜試料を25品目（前報では5品目）に適用範囲を広げて行った場合も、ほぼ同様の結果が得られた。市場試料106点を分析した結果、有機農産物表示のあったものの72%が、また、表示無しの試料の32%が+5.0‰以上の値を取っていた。基準値として+4.0‰を採用した場合は、有機農産物表示のあったものの80.4%が+4.0‰以上の値を取り、表示なしのものは45%であった。以上の結果から、 $\delta^{15}\text{N}$ 値を分析することにより、有機農産物の判断材料のひとつに利用することが可能であると考えられた。

民間研究所、公立研究所および野菜茶業研究所において栽培された試料の $\delta^{15}\text{N}$ 値について同様にしてみると、分析した全ての試料129点については、有機物施用区（有機農産物相当）の試料において、 $\delta^{15}\text{N}$ 値が+5.0‰以上の値を取る試料は88.1%であり、化学肥料施用区（表示無しに相当）の試料では25.3%であった。基準値として+4.0‰を採用した場合は、有機物施用区で97.6%が+4.0‰以上の値を取り、表示なしのものは

32.2%であった。市場試料に比べ施肥管理がより厳密であったため、明確な結果になったと考えられた。以上の結果から、 $\delta^{15}\text{N}$ 値を測定することにより、有機農産物の真偽の判断に利用することが可能であると考えられた。

引用文献

- 1) 林康人・新妻成一・久保省三 (2003) : 灌水施肥 (養液土耕) 栽培の施肥効率は高いのか、施肥量を段階的に変えた場合のトマトの施肥窒素利用率. 土肥誌, **74**, 175-182.
- 2) 倉持寛太 (1999) : 窒素負荷源解析への $\delta^{15}\text{N}$ 値の利用. 水質環境保全のための農業環境モニタリングマニュアル. 農業環境技術研究所編. pp1-9.
- 3) 森田明雄・太田充・米山忠克 (1999) : 肥料の種類の違いが茶園土壌と茶樹の $\delta^{15}\text{N}$ 値に及ぼす影響. 土肥誌, **70**, 1-9.
- 4) 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.
- 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) 中野明正・上原洋一 (2002) : メタン消化液およびコーンステーパーリカー (CSL) を利用した有機養液土耕がメロンの収量、糖度および $\delta^{15}\text{N}$ 値に与える影響. 園学雑, **71** (別 2), 326.
- 7) 中野明正・山内章・上原洋一 (2003) : 有機物施用がトマトの収量、糖度、無機成分および $\delta^{15}\text{N}$ 値に与える影響. 土肥誌, **74**, 737-742.
- 8) 山田裕・森田明雄・米山忠克 (1999) : 3 種の土壌を充填したライシメーターでの施肥窒素の $\delta^{15}\text{N}$ 値と栽培作物、浸透水、土壌の $\delta^{15}\text{N}$ 値の関係. 土肥誌, **70**, 533-541.
- 9) YONEYAMA, T., K. FUJITA, T. YOSHIDA, T. MATSUMOTO, I. KOBAYASHI and J. YAZAKI (1986) : Variation in natural abundance of ^{15}N among plant parts and in $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ fractionation during N_2 fixation in the Legume-Rhizobia symbiotic system. *Plant Cell Physiol.*, **27**, 791-799.
- 10) 米山忠克・笹川英夫 (1994) : 土壌-植物系における炭素、窒素、酸素、水素、イオウの安定同位体自然存在比 : 1987 年以降の研究進歩. 土肥誌, **65**, 585-598.

Application of Nitrogen Stable Isotope Ratio as an Indicator for Organic Fertilized Vegetables

Akimasa NAKANO and Yoichi UEHARA

Summary

$\delta^{15}\text{N}$ values of organic or conventionally produced vegetables which were purchased from the market or provided from the prefectural agricultural station were investigated to determine the criteria which are effective to distinguish organic products from ordinal products. Eighty percent of organically certified vegetables from the market (25 kinds of vegetable, 106 samples) showed values of $\delta^{15}\text{N}$ higher than +4‰, while 45% of the vegetables which were not organically certified showed values of $\delta^{15}\text{N}$ higher than +4‰.

Ninety-eight percent of vegetables grown only by organic fertilizer from prefectural and national agricultural stations (7 kinds of vegetable, 129 samples) showed values of $\delta^{15}\text{N}$ higher than +4‰, while 32% of the vegetables which were not grown by only organic fertilizer showed values of $\delta^{15}\text{N}$ higher than +4‰. These results suggested the possibility to apply $\delta^{15}\text{N}$ values as an indicator for certification of vegetables grown only with organic fertilizer.

Received : November 7, 2003

Department of Fruit Vegetables Taketoyo, Aichi, 470-2351 Japan