

コーンステープリカー (CSL) およびメタン消化液 (MFC) を利用した 有機養液土耕がメロンの $\delta^{15}\text{N}$ 値に与える影響

中野 明正*・上原 洋一

(平成 16 年 11 月 26 日受理)

Effects of Organic Fertigation Using Corn Steep Liquor (CSL)
and Methane Fermented Cattle Waste (MFC)
on $\delta^{15}\text{N}$ Value of Musk Melon (*Cucumis melo* L.)

Akimasa NAKANO and Yoichi UEHARA

Synopsis

Effects of organic fertigation using corn steep liquor (CSL) and methane fermented cattle waste (MFC) on the $\delta^{15}\text{N}$ value of musk melon (*Cucumis melo* L.) were examined with comparison of conventional basal dressing of chemical fertilizer and fertigaion using chemical fertilizer. The $\delta^{15}\text{N}$ values of fruits on conventional basal dressing, inorganic fertigaion and organic fertigation were +1.4‰, -1.6‰ and +6.3‰ in the 2000 experiment, +3.0‰, -1.7‰ and +6.1‰ in the 2001 experiment, respectively, indicating that products from the three treatments were distinguishable using $\delta^{15}\text{N}$ values. Hence, $\delta^{15}\text{N}$ values could be useful as an indicator of organic or fertigation products.

Key Words: fertigation, musk melon, organic products, $\delta^{15}\text{N}$ value

I 緒 言

畜産廃棄物は堆肥化されて利用される場合が多いが、近年、エネルギー源としての有効利用も試みられている。メタン発酵法を用いた家畜糞尿処理プラントは、ドイツ等西欧では稼働しているが、日本においては試行段階である(羽賀, 2002)。現在、メタンを生産した後の廃液(以後メタン消化液(MFC))については、好気処理により環境基準まで窒素成分等を低下させ放流するのが一般的であるが(前川, 2002)、このメタン消化液をメロン栽培に有効利用する方法が検討され、通常の無機肥料の基肥施用レベルの果実重および糖度が達成されている

(中野ら, 2003)。このように有機性の液肥を用いる養液土耕法は、コーンステープリカー(CSL)を用いて、有機養液土耕法としてトマト栽培において確立され(中野ら, 2001)、メタン消化液など他の液肥への応用が図られている。

一方、昨今、農産物の表示問題が重要視される中、有機農産物の判別技術の開発が望まれている。現在の有機農産物の検査認証制度においては、有機物を施用したか否かの判定は、検査員の聞き取り調査によって行われているため(本城, 2001)、それらを科学的に判別し保証する技術の確立が必要である。本研究では、その候補として窒素安定同位体の自然存在比($\delta^{15}\text{N}$ 値)を検討した。 $\delta^{15}\text{N}$ 値とは、試料および標準試料の ^{15}N と ^{14}N の比

表-1 各処理区に加えた肥料の種類と量

処理区名	肥料名 (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O-CaO-MgO)	総施用量 (g plant ⁻¹)	総窒素施用量 (g plant ⁻¹)	総灌水量 (L plant ⁻¹)	
2000 年度	無機基肥区	くみあい磷硝安加里 S604 (16-10-14) 炭酸苦土石灰 (CaO-MgO : 34-15) ² 追肥 : OK-F-1 (15-8-17-6-2)	46.9 22.5 6.7	8.5	106
	無機養液区	OK-F-1 (15-8-17-6-2)	56.7	8.6	
	有機養液区	CSL (3.3-3.4-3.2-0.04-1.1) セルカ (CaO-MgO : 48 : 0)	256.8 15.0	8.5	
2001 年度	無機基肥区	CDU 化成 S222 (12-12-12) 炭酸苦土石灰 (CaO-MgO : 34-15) ²	70.8 22.5	8.5	94
	無機養液区	OK-F-1 (15-8-17-6-2)	50.0	7.5	
	有機養液区	メタン消化液 (0.49-0.22-0.36-0.29-0.11)	1546.4	7.5	

²Ca に関してはアルカリ分表示から MgO 量を差し引いて計算した。

(それぞれ R sample および R standard) から、次の式で計算され、窒素動態の研究などに用いられている (米山ら, 1994). $\delta^{15}\text{N value} = [\text{R sample} / \text{R standard} - 1] \times 1000 (\%)$

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、有機農産物表示ありの $\delta^{15}\text{N}$ 値が同表示なしの値に比べ高くなることが報告されている (中野ら, 2002). この結果から、有機物施用野菜の場合、 $\delta^{15}\text{N}$ 値は +5.0%以上の値を取ることが予想されるが、国内18県と中国産試料29品目を分析した場合にも、有機物施用農産物の89%が+4.0%以上の値をとることが明らかとなっている (中野ら, 2004).

本研究では、これまでトマトでしか報告のない液状有機肥料が植物体の $\delta^{15}\text{N}$ 値に与える影響 (NAKANOら, 2003) を、メロンについて、化学肥料の基肥施用や養液土耕と比較することにより明らかにした。また、 $\delta^{15}\text{N}$ 値を用いた有機農産物判別のための基礎的な知見を得るために、茎葉部と果実部への施用肥料の $\delta^{15}\text{N}$ 値の影響を明らかにしたので報告する。

II 材料および方法

1 栽培条件

栽培は、幅83cm×長さ940cm×深さ20~30cmのドレンベッド (クミアイスーパードレンベッド) を用いて行った。土壌は、野菜茶業研究所武豊野菜研究拠点の長期無栽培の露地圃場から採取し、1cmのふるいに懸けたものをベッドに充填した。なお、土壌は細粒黄色土である。2000年度の処理区は施肥方法で3区を設けた (表-1)。

無機基肥区は、慣行の基肥・追肥の肥培管理を行う区

であり、基肥として粒状化成肥料 (くみあい磷硝安加里 S604) と炭酸苦土石灰を施用した。無機養液土耕区は無機液肥 (OK-F-1, 大塚化学) を施用する通常の養液土耕栽培の区である (以下、無機養液区と略す)。有機養液土耕区は、液肥としてコーンスティープリカー (CSL) のみを施用する養液土耕栽培の区である (以下、有機養液区と略す)。CSLの組成を表-2に示す。N, P, Kの含有率はそれぞれ 30g kg^{-1} であり、3要素の比率は通常使われる肥料のそれと大きな差はない。しかし、野菜栽培の肥料としてはカルシウム含量が過少であるので、カキ殻石灰を元肥で施用した。灌水施肥装置としては、液肥混入機 (FERTY-1-A, ネタフィム社) に定量ポンプ (プロ・ポン E-30, 共立機巧社) を装備し、コントローラ (メテオ, ネタフィム社) で灌水および液肥混入量を制御した。

2000年度に供試した品種は、'アールスナイト夏系1号' で、2000年6月8日に定植し、同年8月22日に収穫した。2001年度の施肥区については、2000年度に準じ、無機基肥区ではCDU化成S222を用い追肥は行わなかった (表-1)。有機液肥としては、酢酸を添加し遠心分離したメタン消化液を用いた (表-2)。2001年度では 'アールスナイト春秋系2号' を用い、2001年8月2日に定植、同年10月15日に収穫した。

期間中の総窒素施肥量および総灌水量は、表-1に示すとおりで、2000年度で1個体当たり約8.5gおよび106リットルであった。2001年度の場合もほぼ同量であるが、1個体当たりの総施肥量は無機基肥区で8.5g、無機および有機養液区で7.5gであった。総灌水量は1個体当たり94リットルであった。それぞれの栽培は、株間35cmの2条植で行った。着果は、第11~14節から出た雌花について行い、形状の優れるもの1果を残して他は除去した。摘心は、本葉25葉を残して行った。

表-2 CSL, メタン消化液および調製メタン消化液の成分組成

肥料成分	CSL ² (g・kg ⁻¹)	メタン消化液 遠心分離 (g・kg ⁻¹)	メタン消化液+酢酸 遠心分離 (g・kg ⁻¹)
全窒素	33.1±1.7	3.95±0.48	4.85±0.16
内 NH ₄ ⁺	3.3±0.1	1.30±0.15	3.56±0.26
内 NO ₃ ⁻	0.4±0.6	0.59±0.02	0.55±0.29
P ₂ O ₅	34.0±1.5	0.18±0.02	2.16±0.10
K ₂ O	31.5±2.4	3.20±0.06	3.56±0.16
CaO	0.4±0.1	0.08±0.01	2.85±0.06
MgO	11.1±0.6	0.04±0.01	1.11±0.03
Na	0.4±0.1	0.70±0.02	0.76±0.03

値は平均値±標準偏差 (n=3)

²中野ら (2000) の値を用い, Naについては再度測定を行った値を加えた.

2 肥料, 土壌, 茎葉, 果実の分析試料の調製と $\delta^{15}\text{N}$ 値および窒素含量の測定

肥料は, 乳鉢で粉碎後, 0.5mm の篩を通したものを試料とした. 土壌は, 直径 10cm の採土管を用いて, 株間の中央部の深さ約 10cm までを採取し, 105 °C で乾燥し, 乳鉢で粉碎後 0.5mm の篩を通したものを試料とした. 茎葉部は, 栽培終了時に, それぞれの処理区において無作為に 3 株を選択し, 茎を高さ方向に 4 分割し, それぞれの部分に存在する葉部を乾燥後粉碎したものを試料とした. 果実部は, 2000 年および 2001 年度とも受粉後 55~58 日で収穫し, 約 7 日間 4 °C で保存後, 赤道部分をコルクボーラーで刮り抜き, 凍結乾燥後乳鉢で粉碎したものを試料とした.

それぞれの試料はスズカップに封入し, 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 (米山ら, 1996). 分析は日本酸素株式会社に依頼した.

III 結果および考察

化学肥料の $\delta^{15}\text{N}$ 値は 0‰ 付近を示した (図-1). これは, 他の報告 (木島ら, 1983; 倉持, 1999) の結果と一致する. 今回使用した MFC は, 倉持 (1999) の報告のスラリーに相当するものと考えられ, この報告では +6.8~11.2‰ の値をとることが示されているが, 今回使用した MFC も同様の値 +7.6‰ を示した. CSL の $\delta^{15}\text{N}$ 値については, 生成のプロセスで乳酸発酵を伴っている (菊池, 1987). このような微生物が関与する酵素反応において同位体分別が生じ, $\delta^{15}\text{N}$ 値が +8.5‰ になったと推察される. 土壌にこれらの肥料を添加した場合, 添加した土壌においては, $\delta^{15}\text{N}$ 値は肥料そのものの差ほど大きなものにはならなかった. これは, 土壌に固有に含まれるいわゆる地力窒素の $\delta^{15}\text{N}$ 値が +5‰ 前後と高い上に, 施肥された窒素の多くが植物体に吸収されたためと考えられる. その結果として, 残留窒素の中で施肥窒素が大きな割合を占めるに至らなかったと考察される. これに対して, 植物体 (茎葉部および果実部) においては, 有機養液区で $\delta^{15}\text{N}$ 値が高く, 無機肥料区で低いという, 有意な差異が再現性良く認められた.

果実部において認められた顕著な差は, 2001 年度に比べ 2000 年度の無機基肥区の $\delta^{15}\text{N}$ 値が低下していることである. これは, 後半の 2 回の追肥に起因するものと考えられた. つまり, $\delta^{15}\text{N}$ 値が 0‰ である OK-F-1 を少量ずつ追肥した場合, この窒素は速やかに吸収され, 果実の $\delta^{15}\text{N}$ 値を低下させたと考えられる.

果実の $\delta^{15}\text{N}$ 値については, 無機基肥区と有機養液区

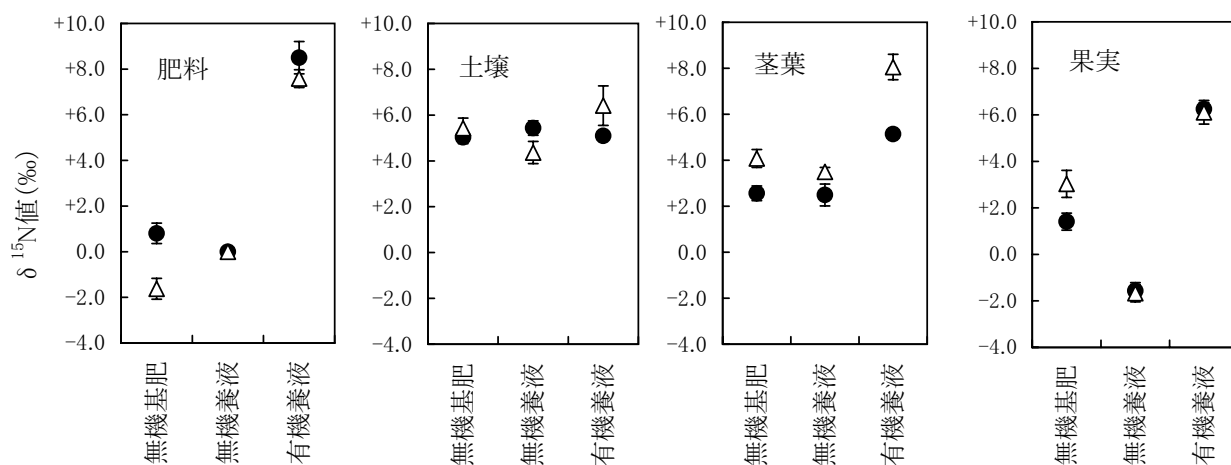


図-1 肥料および施肥法が土壌およびメロン植物体の $\delta^{15}\text{N}$ 値に与える影響

●: 2000 年度, △: 2001 年度. 縦棒は標準偏差 (n=3)

では、茎葉部と同じ傾向にあったが、無機養液区では、茎葉部にくらべ果実部で4%程度低い値となった。無機養液区の場合、茎葉部も低い値を取ると考えられるが、成長速度が速いため、1日100mg程度の窒素供給では、生育に必要なすべての窒素が十分に供給されていたとは考えにくく(福西ら, 2000)、常に土壤のいわゆる地力窒素により不足分が補われていた可能性がある。CSLは、窒素の89%が有機態窒素であるため、その約15%が有機態窒素であるMFCに比べ窒素発現が遅い。そのため、栽培初期に形成される茎葉部の $\delta^{15}\text{N}$ 値は土壤の窒素の影響を受けてMFCに比べ低くなったと考えられる。果実の肥大時においては、通常は窒素の施用が控えられるが、両実験とも最後まで窒素を供給し続けた。この果実肥大期においては、与えられた窒素が直接果実へと分配され、OK-F-1または有機液肥の値を反映したものと考えられる。無機基肥区のように全層に施肥される場合、植物が窒素を吸収するまでの間に無機養液区にはないプロセスがあるとともに、粒状肥料であるために高濃度の肥料が局在していることになる。そのため、十分に吸収されていなかったと考えられた。一般的な施肥法での果菜類の窒素利用率は高くても60%程度あり(金野, 1997)、吸収された窒素には、土壤の地力窒素も含まれていたと考えられる。

図-2には、 $\delta^{15}\text{N}$ 値の茎葉内での分布を示す。全体的に、同一の処理区においては生育段階における顕著な変動は認められなかった。全体として、上位ほど $\delta^{15}\text{N}$ 値が低下する傾向にあった。吸収された硝酸の還元により同位体分別が生じ、還元態の窒素(アミノ酸やタンパク質)の $\delta^{15}\text{N}$ 値が低くなることが知られている(YONEYAMAら, 1989)。下位葉で合成されたアミノ酸を中心とする還元態の窒素が上位葉へと転流したため、上位葉の $\delta^{15}\text{N}$ 値の低下が生じた可能性が考えられた。図-3に示すように、全体的に見ると、果実の $\delta^{15}\text{N}$ 値は茎葉部の $\delta^{15}\text{N}$ 値に比べ低い値を示した。これは、葉において還元されたアミノ態窒素が果実へと転流したためと考えられる。茎葉部の窒素濃度には処理間で差が認められ、無機養液区の窒素含量が高かった。果実においては、茎葉部同様 $\delta^{15}\text{N}$ 値は処理区間で大きく異なったが、窒素含量は茎葉部のような差は認められなかった。これは、ソースである茎葉部とシンクである果実部とに窒素濃度に関する制御機構が働いており、茎葉部からの窒素の流入を一定レベルに制限しているためと考えられた。無機養液区では、生育後期の根からの窒素供給は十分であったため、相対的に茎葉部から果実への窒素転流が少なくなり、

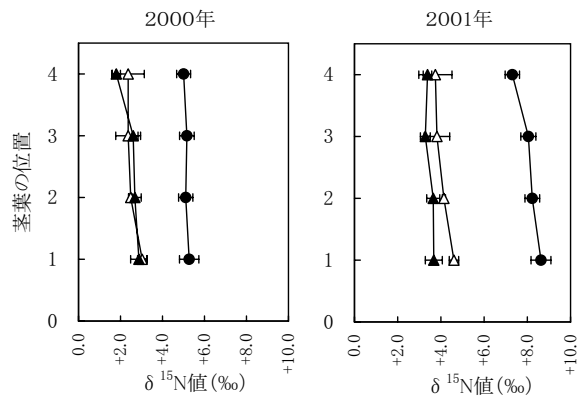


図-2 肥料および施肥法がメロン植物体の $\delta^{15}\text{N}$ 値の分布に与える影響

△：無機基肥区，▲：無機養液区，●：有機養液区
横棒は標準偏差 (n=3)

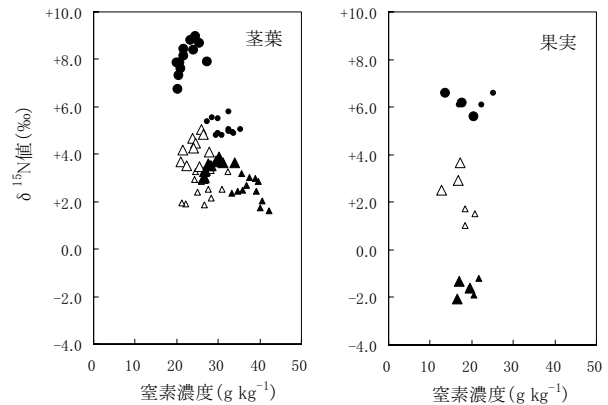


図-3 メロンの茎葉および果実における $\delta^{15}\text{N}$ 値と窒素濃度の関係

無機基肥区 (△2000, △2001), 無機養液区 (▲2000, ▲2001), 有機養液区 (●2000, ●2001)

$\delta^{15}\text{N}$ 値がより化学肥料のそれを反映する結果となったと考えられた。

果実の $\delta^{15}\text{N}$ 値を測定することにより、化学肥料を基肥で与えたものと、無機性の液肥を少量ずつ灌水同時施肥で与えたもの、有機性の液肥を少量ずつ灌水同時施肥で与えたものの3者をそれぞれ区別することができた。これらの知見は、現在聞き取りを中心に行われている有機農産物(無化学肥料, 無農薬)を判別する際の指標になる可能性を示唆している。また、施肥効率が良く、環境保全的であるとされる無機養液土耕(山崎, 2002)で生産された農産物を、従来の化学肥料の基肥施用といった施肥法で生産した農作物と差別化する指標としても使える可能性を示唆している。

IV 摘 要

コンスティープリカー（CSL）およびメタン消化液（MFC）を用いた灌水同時施肥（有機養液土耕）が、メロンの $\delta^{15}\text{N}$ 値に与える影響を、化学肥料基肥で施用および化学肥料の液肥を灌水同時施肥する処理区（無機養液区）と比較することにより明らかにした。与えた肥料の $\delta^{15}\text{N}$ 値は、化学肥料ではほぼ0‰付近の値を取り、基肥に用いた化学肥料で+0.85‰（S604）、-1.6‰（CDU）、無機養液土耕で0.0‰（OK-F-1）であった。これに対し、有機性の液肥は、それぞれ+8.5‰（CSL）、+7.6‰（MFC）であった。

無機基肥、無機養液区および有機養液区の3種類の果実の $\delta^{15}\text{N}$ 値は、それぞれ、2000年実験では、+1.4‰（S604）、-1.6‰（OK-F-1）、+6.3‰（CSL）となり、2001年実験では、+3.0‰（CDU）、-1.7‰（OK-F-1）、+6.1‰（MFC）となり、3処理区をそれぞれ区別することができた。したがって、 $\delta^{15}\text{N}$ 値は有機養液土耕と無機養液土耕で生産した農産物を、従来の化学肥料の基肥施用で生産した農産物と判別する際の指標になる可能性がある。

引用文献

- 1) 福德康雄・寺岡祐子・児藤俊一・久保研一（2000）：養液栽培におけるアールスメロン（*Cucumis melo* L.）の生育時期別の窒素吸収と分配。土肥誌，71，72-81.
- 2) 本城昇（2001）：有機農産物の基準・認証問題。有機農業研究会報告。有機農業-21世紀の課題と可能性，日本有機農業学会，pp62-82，コモンズ，東京。
- 3) 木島宣明・和田英太郎・垣内信子（1983）：質量分析法による安定同位体自然存在比の測定とその利用。ライフサイ

- エンスのための安定同位体利用技術，社団法人日本アイソトープ協会，pp13-22，丸善，東京。
- 4) 菊池一徳（1987）：トウモロコシの生産と利用。pp175-181，光琳，東京。
 - 5) 金野隆光（1997）：土壌の養分供給能。最新土壌学，久馬一剛編，pp139-146，朝倉書店，東京。
 - 6) 倉持寛太（1999）：窒素負荷源解析への $\delta^{15}\text{N}$ 値の利用。水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。
 - 7) 羽賀清典（2002）：畜産廃棄物のリサイクルの現状と課題。研究ジャーナル，25(3)，11-17。
 - 8) 前川孝昭（2002）：バイオマス・自然エネルギーの農業利用技術。研究ジャーナル，25(3)，43-52。
 - 9) 中野明正・上原洋一・山内章（2001）：有機液肥の連続施用システムの開発とそれがトマトの生育・果実収量・品質および土壌の化学性に与える影響。土肥誌，72，505-512。
 - 10) 中野明正・上原洋一・渡辺功（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。
 - 11) 中野明正・上原洋一（2003）：かん水同時施肥栽培におけるコンスティープリカーおよびメタン消化液の利用がメロンの生育および収量に及ぼす影響。園芸学研究，2，175-178。
 - 12) 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.
 - 13) 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。
 - 14) 山崎晴民（2002）：果菜類の養液土耕栽培における養水分の適正管理技術。農業および園芸，77，906-912。
 - 15) YONEYAMA, T. and A. KANEKO (1989): Variations of the natural abundance in nitrogenous fractions of Komatsuna plants supplied with nitrate. Plant Cell Physiology, 30, 957-962.
 - 16) 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。
 - 17) 米山忠克・KIM, T. H. (1996)：GC/C/MSによるナノモル量化合物の $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ および $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ の自然存在比のオンライン分析，化学と生物，34，464-465。

Effects of Organic Fertigation Using Corn Steep Liquor (CSL)
and Methane Fermented Cattle Waste (MFC)
on $\delta^{15}\text{N}$ Value of Musk Melon (*Cucumis melo* L.)

Akimasa NAKANO* and Yoichi UEHARA

Summary

Effects of organic fertigation using corn steep liquor (CSL) and methane fermented cattle waste (MFC) on the $\delta^{15}\text{N}$ value of musk melon (*Cucumis melo* L.) were examined with comparison of conventional basal dressing of chemical fertilizer and fertigaion using chemical fertilizer. The $\delta^{15}\text{N}$ values of fertilizers which were used for the experiment were +0.85‰ (S604), -1.6‰ (CDU), 0.0‰ (OK-F-1), +8.5‰ (CSL), +7.6‰ (MFC). The $\delta^{15}\text{N}$ values of fruits from conventional basal dressing, inorganic fertigaion and organic fertigation were +1.4‰ (S604), -1.6‰ (OK-F-1) and +6.3‰ (CSL) in the 2000 experiment, +3.0‰ (CDU), -1.7‰ (OK-F-1) and +6.1‰ (MFC) in the 2001 experiment, respectively. Products from the three treatments were distinguishable using $\delta^{15}\text{N}$ values. Hence, $\delta^{15}\text{N}$ values could be useful as an indicator of organic or fertigation products.

Received: November 26, 2004
Department of Fruit Vegetables
40-1 Minaminakane, Taketoyo, Aichi, 470-2351 Japan

* Present address:
Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
1-2-1 Kasumigaseki, Chiyoda, Tokyo, 100-8950 Japan