

葉菜類の $\delta^{15}\text{N}$ 値に及ぼす肥料の影響

中野 明正*・上原 洋一

(平成 17 年 11 月 30 日受理)

Effect of Different Fertilizers on $\delta^{15}\text{N}$ Values of Leafy Vegetables

Akimasa NAKANO and Yoichi UEHARA

Synopsis

$\delta^{15}\text{N}$ values of leaf vegetables were correlated with those of the applied fertilizers. These results suggested that by the creation of a database on the $\delta^{15}\text{N}$ values of fertilizers, the $\delta^{15}\text{N}$ values could be useful for the scientific certification of fertilizer application on the fields.

As for the effects of fertilizer on the contents of leaf vegetables, the content of one valence cations were strongly affected by the type of fertilizer (chemical or organic fertilizer). On the other hand, the difference of $\delta^{15}\text{N}$ values in fertilizers was reflected on that of the vegetables, and the manner of influence of fertilizer to the plant was similar among different leafy vegetables.

Key Words: $\delta^{15}\text{N}$, organic fertilizer, leafy vegetables, mineral contents, stable isotope

I 緒 言

作物の $\delta^{15}\text{N}$ 値は施用された肥料の影響を強く受ける事が示されている(中野ら, 2004). $\delta^{15}\text{N}$ 値は ^{15}N の ^{14}N に対する比 ($R = ^{15}\text{N} / ^{14}\text{N}$) について, 標準試料(大気)の値との差から計算される値であり ($\delta = [R (\text{試料}) / R (\text{標準試料}) - 1] \times 1000 (\text{‰})$), 窒素動態の研究などに用いられている(米山ら, 2002). 作物の $\delta^{15}\text{N}$ 値は土壌の $\delta^{15}\text{N}$ 値の影響も受けるが, それは施肥量が少なく施肥窒素の影響が少ない場合である(中野ら, 2005). 従って, 施肥基準の施肥を行う場合, 化学肥料や有機質肥料に含まれる窒素の $\delta^{15}\text{N}$ 値が作物の $\delta^{15}\text{N}$ 値に反映され, 有機物施用により生育させた農産物の判別に使用できる可能性が示されている.

有機農産物は, 消費者の関心が依然高く, それが付加価値となるため $\delta^{15}\text{N}$ 値などを用いて市場流通管理を行

う必要がある. 一方では, 日本においては特に畜産から排出される窒素が年間 70 万トンと多く, 年間消費される化学肥料の窒素量に匹敵する状況にあるため, 未利用有機物資源の有効利用の観点から堆肥利用を促進する必要がある(中野, 2005). 1999 年から「家畜排せつ物の管理の適正化および利用の促進に関する法律」が施行され, 堆肥製造, 農地還元も促進された. しかし, 一般には堆肥だけで連用を行うと, 土壌養分の不均衡が生じるため, 適切な分析に基づいた施肥設計が行われる必要があり(木村, 2005), 肥料メーカーも有機物を含む肥料を多数開発し販売している. これらの肥料についても未利用資源の利用の観点から適正使用が評価されるべきと考える. そこで, どの程度有機質肥料が使用されて作物が生産されているのかを評価する手法としても $\delta^{15}\text{N}$ 値が使える可能性があるため本報告で検証した.

本報告では, まず様々な化学肥料および有機物含有肥料など $\delta^{15}\text{N}$ 値が異なる肥料を用いて生育させたコマツ

ナ幼苗の地上部に、 $\delta^{15}\text{N}$ 値がどの程度反映されるのかを明らかにした。肥料の $\delta^{15}\text{N}$ 値のデータベースをすることにより、生産物の施肥履歴の科学的な検証に $\delta^{15}\text{N}$ 値が使える可能性が出てくるからである。さらに、ハウレンソウ (*Spinacia oleracea* L., アカザ科), チンゲンサイ (*Brassica campestris* L. var. *chinensis* (L.) Makino, アブラナ科), シュンギク (*Chrysanthemum oronarium* L., キク科), コマツナ (*Brassica campestris* L., アブラナ科)

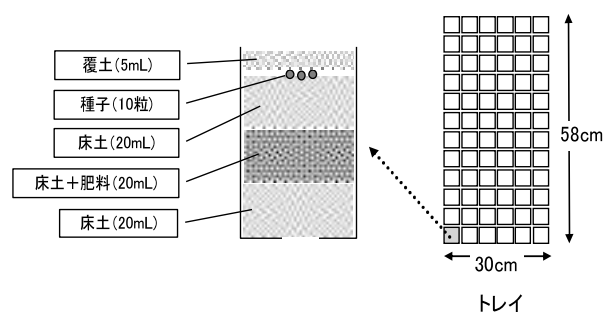


図-1 セルトレイにおける施肥および播種法
床土：クレハ園芸培土

表-1 実験に使用した各種肥料等の保証成分等の性質

No	肥料等の種類	肥料の名称	保証成分(%) (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O)	肥料の $\delta^{15}\text{N}$ 値 (‰)	肥料に関する情報
1	化成肥料	くみあいジシアン入り園芸化成460	14-6-10	+1.48	硝酸化成抑制剤としてジシアンジアミド1.1%含有
2	化成肥料	丸菱高度化成NS052	10-25-12	+4.02	硝酸性窒素含有
3	化成肥料	高度化成肥料フルライト特444号	14-14-14	+2.44	硫安,りん安,塩化加里,固結防止材(珪藻土+シェール油)に硫酸を添加した典型的化成肥料
4	化成肥料	くみあいNK化成222	12-2-12	-0.95	組成均一化促進材として石こうを含有
5	化成肥料	苦土入り高度化成肥料フルライト403号	14-20-13	+0.53	典型的化成肥料に尿素だけを添加したもの
6	化成肥料	複合機加安402号	14-10-12	+1.89	粉碎物(硫安,りん安,塩化加里,過りん酸石灰の典型的化成肥料)
7	化成肥料	苦土マンガンほう素腐植酸有機入り化成088号	10-8-8	+1.62	蒸製皮革粉10%, ごま油かす粉末7%
8	化成肥料	尿素有機入り化成MMBS302	13-10-12	+2.26	尿素9%, 蒸製皮革粉5%, なたね油かす粉末5%, 蒸製骨粉2%
9	化成肥料	中日本有機入り化成S828号	8-12-8	+1.99	蒸製毛粉15%, なたね油かす粉末2%, 乾燥菌体肥料40%
10	化成肥料	苦土マンガンほう素有機入り化成肥料888号	8-8-8	+2.14	蒸製皮革粉13%, ごま油かす粉末10%
11	有機肥料	もろこしパワーN9.5	9.5-0-0	+2.44	コーンスターチ製造過程で生じる副産物で主体はタンパク質
12	化成肥料	海藻入りユーキ6号J	4-5-1	+3.93	なたね油かす粉末52%, 大豆油かす粉末10%, 蒸製骨粉5%, 米ぬか16%, 乾燥藻8%
13	指定配合肥料	加里配合固形403J	4-10-3	+4.65	尿素11%, なたね油かす粉末, 大豆油かす粉末, 蒸製骨粉7%以上, 米ぬか
14	指定配合肥料	苦土有機入り配合肥料もえぎ10号	5-15-7	+4.41	魚かす粉末20%, 大豆油かす粉末2%, なたね油かす粉末18%, 蒸製皮革粉1%, わたみ油かす粉末6%
15	指定配合肥料	有機入り配合5-7-5	5-7-5	+5.14	なたね油かす粉末20%, 魚廃物加工肥料10%, フェザーミール18%, 蹄角骨粉7%, 骨りん酸12%, 豚肉骨粉13%, 乾燥菌体肥料10%
16	指定配合肥料	ロングエース8号	8-5-5	+3.96	なたね油かす粉末59%, フェザーミール10%
17	指定配合肥料	有機入り配合肥料867号	8-6-7	+0.43	なたね油かす粉末7%, 大豆油かす粉末6%, 魚かす粉末5%
18	指定配合肥料	紀の里3号	7-7-3	+5.99	魚かす粉末32%, 肉骨粉18%, 菜種油かす粉末17%, 蒸製皮革粉13%
19	化成肥料	マトリックス有機オール12	12-12-12	+2.31	朝日工業社製, 有機物含有肥料
20	乾燥菌体肥料	グリーンフレンドII	7-4-0	+7.15	水産加工副産物の微生物処理物
21	動物の排泄物	フジミ発酵鶏糞	2-6.5-3	+20.17	鶏糞を原料にして作成された堆肥
22	堆肥	昔肥料	3-4-3	+10.21	10種類の動植物由来有機物を発酵させて得られた堆肥
23	堆肥	ペレット堆肥(牛1:鶏1)	4-3.8-3.2	+13.61	(独)九州沖縄農業研究センターにおいて作製されたペレット堆肥
24	堆肥	ペレット堆肥(牛2:菜種1)	3.1-2.8-3.1	+9.90	(独)九州沖縄農業研究センターにおいて作製されたペレット堆肥
25	床土	ワームゴールド	0.7-0.7-0.5	+6.50	アメリカ合衆国, California Vermiculture 社製
26	Eco Fertilizer	MONTERRA MALT	13-0-0	+3.75	オランダ, MEMON社製
27	Organic NPK Fertilizer	SIFORGA(5mm)	5-3-8	+3.97	オランダ, MEMON社製
28	Organic NPK Fertilizer	SIFORGA(2mm)	5-3-8	+3.92	オランダ, MEMON社製
29	Organo-mineral Fertilizer	PRIMAX	4-7-10	-1.33	オランダ, MEMON社製
30	Soil Conditioner	TERRA-VIT	2.5-1.8-1.8	+4.61	オランダ, MEMON社製
31	床土	クレハ園芸培土	0.04-0.19-0.06	+3.35	呉羽化学社製

安定同位体比は実測値の平均値 (n=2)。ペレット堆肥の保証成分については実測値。

と、異なる科または種の葉菜類を用いて、施肥が葉菜類の $\delta^{15}\text{N}$ 値および無機成分等に及ぼす影響について明らかにすることを試みた。著者らは有機認証された市販の果菜類の無機成分等を分析して、慣行栽培された果菜類と大きな差異が認められなかったことを明らかにするとともに、 $\delta^{15}\text{N}$ 値は有機野菜（一部葉菜類を含む）で高くなることを明らかにしている（中野，2002；中野ら，2004）。本報告では果菜類と異なり直接的に影響が出やすく、十分な検討がなされていない葉菜類で施肥の影響がどの程度生じるのか明らかにした。

II 材料および方法

1 栽培と材料調製

a 各種肥料がコマツナの $\delta^{15}\text{N}$ 値に与える影響

図－1に示すように72穴（6×12）のポリポットトレイに約80ml容量のポリ容器をはめ込み，No.31の床土（クレハ園芸培土）に対して（表－1），No.1～30の肥料を窒素量でセル当たり30mgになるように添加した。コマツナ種子（‘あおい小松菜’，トーホク交配）10粒を播種し，肥料の添加法については伸長した根がすぐに肥料に触れて濃度障害を起こさないように，種子を置く下の層はクレハ園芸培土とし，その下に肥料を混和したクレハ園芸培土の施肥層を設けた。さらに，肥料成分が灌水により施肥層より下に移動した場合も容器内に留まるように施肥層の下に無施肥層を設けた。肥料毎の繰り返し数は2とした。灌水法は2004年3月23日の播種時に1セル当たり40mlを灌水し，その後毎日約10mlの灌水を行った。この灌水量は，同一条件下で毎日トレイ全体の重さを測定し，平均的に1ポット当たり10mlの蒸発があったことから設定した値であり，栽培期間中ポツ

トの下部から余剰水が漏れる状態にはならない量であった。その後，発芽後はトレイ全体の重さが発芽以前の灌水時の重さになるように，毎日全体に均一に灌水を行った。収穫は播種後27日目の2004年4月19日に行った。発芽率は区毎にもばらつきが大きかったがサンプル量を確保するために間引きはせずに，セル毎の地上部を収穫した。80℃で3日間乾燥し，振とう型粉碎器で粉碎して分析試料とした。

b 施肥が4種類の葉菜類の無機成分と $\delta^{15}\text{N}$ 値等に与える影響

施肥・栽培条件：野菜茶業研究所温室内の細粒黄色土（矢田統，SL）の試験区（1区画1.4m×1.5m）において，作土層40cmの遮根シートを用いた簡易隔離床で試験を実施した。この土壌は1996年から2001年にかけて5種類の施肥条件を設けてトマトを年2作栽培した圃場の跡地であり，詳細な条件については，既報（中野ら，2003）に記載してある。このような条件の土壌で葉菜類の栽培を行ったが，葉菜類の面積当たりの施肥量としては，表－2に示すように果菜類の半量の施肥を行った。

施肥の処理は全部で5区とした。化学肥料のみを用いた区は2区設け，CDU化成肥料（CDU化成S222，全農）と苦土石灰を施用したCDU区，LSR（Low-sulfate slow-release fertilizer: 低硫酸根緩効性肥料10-11-11，日本合同肥料）と苦土石灰を施用したLSR区とした。有機質肥料を使用した区は3区設けた。CM（cattle manure）＋CDU区は牛糞堆肥を10a当たり約1tの割合で施用し，窒素の想定必要量の半量をCDUで与えた。PM（poultry manure）＋CDU区は鶏糞堆肥を用いたが，施用した鶏糞堆肥については多くの報告（原田，2001）にあるように，牛糞堆肥より肥料成分が高いことから，

表－2 化学肥料および有機質肥料の施肥量，成分および $\delta^{15}\text{N}$ 値

処理区	施用肥料	施肥量（g /区）*	施用量（g /区）					$\delta^{15}\text{N}$ 値（‰）
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	
CDU	CDU + Ca Mg**	240+72	29	29	29	18	10	－1.6
LSR	LSR + Ca Mg	240+72	29	32	32	18	10	－1.1
CM***+ CDU	CM + CDU + Ca Mg	1752+120+72	58	58	67	61	33	+12.2
PM****+CDU	PM + CDU + Ca Mg	876+120+72	34	63	36	178	25	+11.2
CM + PM	CM + PM + Ca Mg	1752+876+72	63	93	74	220	48	+17.9

*：施肥量は1区（1.4×1.5m）当たりの量を示す。

**：Ca Mgは苦土石灰を表わす。

***：CMは牛糞堆肥を表わす。

****：PMは鶏糞堆肥を表わす。

牛糞堆肥の半量の10a当たり約0.5tの割合で施用し、同様に窒素の想定必要量の半量をCDUで与えた。CM+PM区は牛糞堆肥と鶏糞堆肥を10a当たりそれぞれ約1tと0.5t施用した。これらの堆肥を施用した区においても、それぞれ同量の苦土石灰を施用した。有機質肥料の基本的施用量は10a当たり1～2tであり(木村, 2001)、本作のCM+PM区についてはこの施用量の範囲内で標準的なものであった。

2001年の11月8日に、ハウレンソウ(‘オータムほうれん草’, トーホク交配), チンゲンサイ(‘青武’, サカタのタネ), シュンギク(‘株張り中葉新菊’, タキイ), コマツナ(‘あおい小松菜’, トーホク交配), それぞれ1区に4条(条長1.4m, 条間40cm)を条蒔きし、1週間に一度間引いて、区毎の生育状況をそろえるように管理した。外観上、区毎の生育は斉一化し、1条当たり20～25株になるように調整した。灌水は散水チューブで行い、播種後14日間は毎日1区当たり平均約5ℓ、その後約21日間は、平均約10ℓの灌水を行った。それぞれの葉菜類について5区の施肥処理を行ったが繰り返し区は設けなかった。

収穫調査と試料調製: コマツナは播種後41日目の2001年の12月19日、ハウレンソウ、チンゲンサイ、シュンギクは播種後59日目の2002年の1月6日に収穫した。区当たりの新鮮重を測定した後、その中から無作為に10株を抽出して新鮮重を測定し、80℃で3日間乾燥後に粉碎して分析試料とした。その中からさらに3サンプルを無作為に抽出して分析用試料とした。

2 無機成分等および $\delta^{15}\text{N}$ 値の分析

カリウム、ナトリウム、リン、カルシウム、マグネシウム、鉄、マンガンの各イオンの分析には、乾燥粉碎試料に濃硝酸を添加し120℃で加熱して分解後、蒸留水で希釈調整した硝酸分解液を使用した。分析に際しては原液を適宜希釈し、ICP発光分析装置(SPS7700, セイコー電子工業)で測定した(小山, 1990)。硝酸イオン、硫酸イオン、塩化物イオン、シュウ酸イオンは、栓付試験管に試料粉末を100mg分取し、蒸留水5mlを添加した後、オートクレーブ処理(120℃, 20分)で抽出した。分析に際しては原液を適宜希釈し、イオンクロマトグラフ(陰イオン分析システムLC-10AD, 島津製作所)で測定した。

窒素と $\delta^{15}\text{N}$ 値の分析は、植物体および肥料などの分析試料をスズカプセル(厚さ0.02mm)に窒素含量として100 μg 程度が入るように正確に秤量して封入し、安定同位体比分析装置(EA1110-DELTAplus Advantage

Con Flo III System, Thermo Finnigan 社)により行った。

Ⅲ 結 果

1 各種肥料等がコマツナの $\delta^{15}\text{N}$ 値に与える影響

31種類の異なる肥料等の $\delta^{15}\text{N}$ 値は-1.3‰から+20.2‰までの変動を示した。肥料等に関して得られた情報から(表-1右欄)、その窒素成分が化学合成窒素のみから構成されることが想定される肥料または床土(No.1～6と31)の $\delta^{15}\text{N}$ 値の平均値と標準偏差は+1.8 $\pm$ 1.7‰であった(以下同様の表記とする)。なたね油かすや大豆油かすなどのかす類を利用して作製したと思われる肥料(No.7～19)については+3.2 $\pm$ 1.6‰であった。日本の肥料メーカーおよび独立行政法人の研究所で作製されたもので、微生物処理または堆肥化処理が十分行われていると考えられる資材(No.20～24)については、平均+12.2 $\pm$ 5.0‰であった。アメリカおよびオランダで作製された資材(No.25～30)については+3.6 $\pm$ 2.6‰であった。肥料の $\delta^{15}\text{N}$ 値とそれにより生育したコマツナの $\delta^{15}\text{N}$ 値との間には直線関係が認められ、 $Y(\delta^{15}\text{N} \text{ 値, コマツナ}) = 0.96X(\delta^{15}\text{N} \text{ 値, 肥料}) - 3.6$ の関係式が得られた。相関係数は $R=0.88$ と高かった(図-2)。またY軸切片は-3.6‰であった。繰り返し数2で生育させたが処理区内で生育差が大きく、全処理区の平均乾物重は約200mg/セルであった。

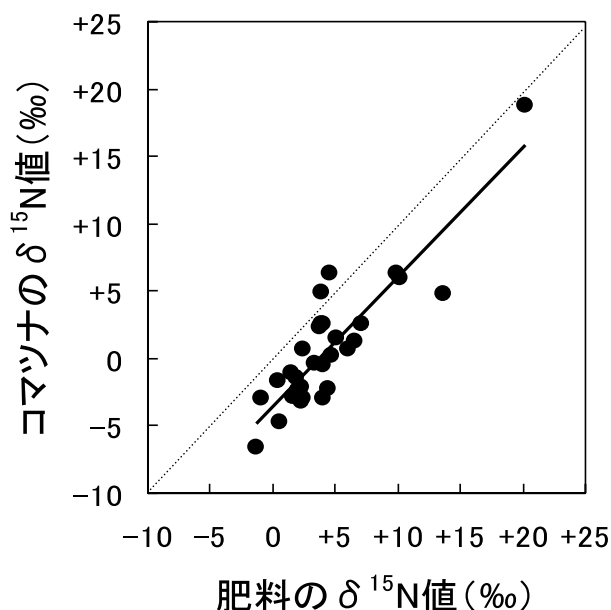


図-2 施用した肥料の $\delta^{15}\text{N}$ 値とコマツナ幼苗の $\delta^{15}\text{N}$ 値との関係

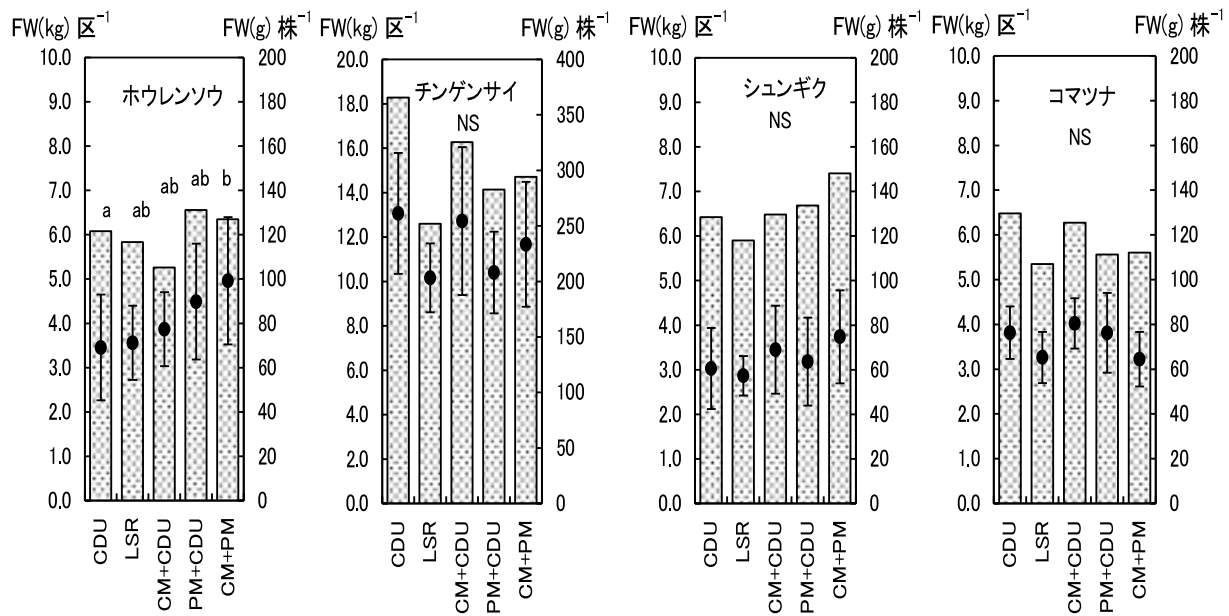


図-3 施肥の違いが葉菜類の生育に与える影響

区当たりの新鮮重(■)：一区のみで反復無し。

株当たりの新鮮重(●)：縦軸は標準偏差 (n=10), 有意差検定は Tukey-Kramer 検定を用いた。

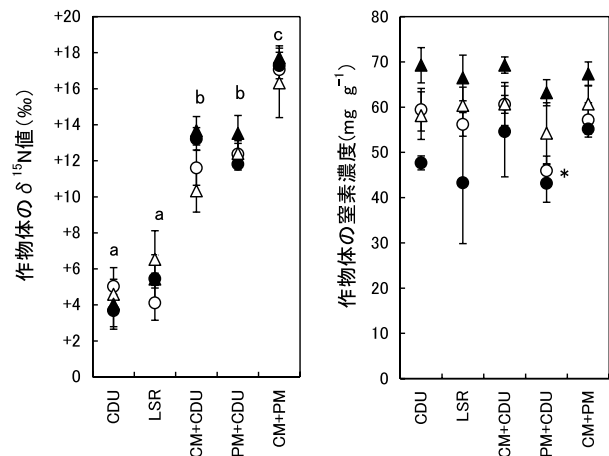
NSは有意差無し。異なる文字は, 5%の危険率で有意差あり。

2 施肥が4種類の葉菜類の $\delta^{15}\text{N}$ 値と無機成分等に与える影響

4種類の葉菜類において区毎の生育は外観上齊一化しており, 結果としてホウレンソウ, チンゲンサイ, シュンギク, コマツナの一区当たりの平均株数は, それぞれ 75, 65, 101, 81 株となった。処理区ごとの総新鮮重においては一定の傾向は認められなかった。1株当たりの新鮮重については, ホウレンソウにおいてのみ CDU 区に比べ CM + PM 区の新鮮重が重くなる有意な差が認められた。その他の葉菜については有意な差異は認められなかった(図-3)。

作物体の $\delta^{15}\text{N}$ 値については, 区毎に明確な差異が認められた(図-4)。それぞれの肥料の $\delta^{15}\text{N}$ 値は CDU で -1.6‰ , LSR で -1.1‰ であった。これらの値に比べ, 使用した堆肥の $\delta^{15}\text{N}$ 値は, 牛糞堆肥で $+16.7\text{‰}$, 鶏糞堆肥で $+20.8\text{‰}$ と高く, 肥料の加重平均をした区毎の施用窒素の $\delta^{15}\text{N}$ 値は CM + CDU 区で $+12.2\text{‰}$, PM + CDU 区で $+11.2\text{‰}$, CM + PM 区で $+17.9\text{‰}$ であった(表-2)。葉菜類でも, 果菜類と同様に, 肥料のこのような $\delta^{15}\text{N}$ 値の違いが植物体に反映されていた。植物種間の違いによる差異は認められず, 施肥の違いによる影響のみが異なっていた(図-4)。

作物体窒素濃度については, 施肥処理区間の差はホウレンソウにおいてのみ認められ, PM + CDU 区が他の

図-4 施肥の違いが葉菜類の $\delta^{15}\text{N}$ 値と窒素濃度に与える影響

○ ホウレンソウ, ● チンゲンサイ, △ シュンギク, ▲ コマツナ

縦軸は標準偏差 (n=3)

有意差検定は Tukey-Kramer 検定を用いた。NSは有意差無し。異なる文字は, 5%の危険率で有意差あり。

*で示したホウレンソウのPM+CDU区のみ, 他のホウレンソウの区と比べ窒素濃度が低かった。その他の作物については, 区毎の差は認められなかった。

区より有意に低下していた。

表-3にそれぞれの葉菜類における無機成分等の含量を示した。カリウムについては CDU や LSR の化学肥料区(以下この2区をまとめて化学肥料区とする)に比べ有機物を用いたそれ以外の区で高くなった。これとは反

表-3 異なる施肥法における葉菜類の無機成分等の組成

		K	Na	P	Ca	Mg	Fe	Mn	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	シュウ酸
		mg g ⁻¹					μg g ⁻¹		mg g ⁻¹			
ハウレンソウ	CDU	39.3a	24.1ab	5.7	4.3	10.5	784ab	120.3b	35.6	3.4	7.2	40.1
	LSR	31.7a	33.3b	5.9	5.2	11.6	927b	65.4ab	42.2	3.2	8.9	42.8
	CM+CDU	92.9b	6.3a	6.1	4.2	11.8	354ab	35.6a	49.5	3.2	10.3	51.8
	PM+CDU	67.4b	8.3a	5.6	4.7	9.8	620ab	23.9a	28.7	2.9	9.8	47.5
	CM+PM	106.6b	5.6a	6.5	3.5	9.8	227a	34.5a	41.5	2.3	11.2	67.2
				NS	NS	NS			NS	NS	NS	NS
チンゲンサイ	CDU	33.7a	33.3d	7.0	17.1ab	4.0a	313	40.4	71ab	17.8	13.7a	-
	LSR	45.3a	27.2c	6.7	16.3ab	4.2a	266	19.3	48.3a	13.6	24.3bc	-
	CM+CDU	96.5bc	14.1ab	7.3	13.2a	7.5c	180	33.7	97.1b	14.2	17.1ab	-
	PM+CDU	85.2bc	8.9a	6.7	20.2b	3.9a	172	23.2	74.3ab	15.0	26.4c	-
	CM+PM	97.7c	16.4b	6.7	16.0a	5.9b	148	33.4	89.2b	14.0	22.5abc	-
				NS			NS	NS		NS		
シュンギク	CDU	36.9a	45.0b	6.7	8.6a	4.4	887	33.7ab	59.7	6.3a	19.5	-
	LSR	46.6a	37.7b	6.4	9.3a	4.2	696	136.6c	66.1	9.9b	20.1	-
	CM+CDU	98.8bc	13.7a	7.0	7.3a	4.5	407	50.3b	61.0	7.0ab	24.2	-
	PM+CDU	91.4b	14.9a	7.1	12.1b	3.8	878	23.7a	61.3	7.9ab	26.1	-
	CM+PM	118.2c	13.4a	6.8	7.7a	3.9	402	33.2ab	68.2	6.2a	28.9	-
				NS		NS	NS		NS		NS	
コマツナ	CDU	47.3a	14.4b	6.3	19.0b	5.2ab	119	54.9bc	75.0	14.5	15.2ab	-
	LSR	32.6a	19.9c	5.8	23.6c	6.6c	135	24.8a	75.0	10.3	17.0ab	-
	CM+CDU	91.1c	10.1ab	5.8	11.7a	6.9c	97	69.9c	88.6	12.3	13.0a	-
	PM+CDU	66.7b	7.2a	5.9	18.8b	4.4a	173	32.4ab	73.7	13.6	20.7b	-
	CM+PM	86.8c	12.7b	5.6	11.2a	5.5b	121	66.8c	67.3	11.3	20.9b	-
				NS			NS		NS	NS		

有意差検定は Tukey-Kramer 検定を用いた。NSは有意差無し。異なる文字は、5%の危険率で有意差あり。

対に、ナトリウムについては、CDU や LSR の化学肥料区が有機物を用いたそれ以外の区よりも高くなっていた。リンについては差が認められなかった。カルシウムについては、化学肥料区にくらべ弱いながら CM + PM 区で低くなる傾向が認められた。マグネシウムについては一定の傾向が認められなかった。

鉄やマンガンについても一定の傾向が認められなかった。硝酸、硫酸、塩化物イオンについても同様であり処理区による一定の傾向が認められなかった。シュウ酸についてはハウレンソウのみで特異的に検出されたが、化学肥料区に比べ有機物を施用した区で高まる傾向が認められた。

Ⅳ 考 察

1 各種肥料等がコマツナの δ¹⁵N 値に与える影響

肥料と床土の δ¹⁵N 値はその種類により異なるが、その窒素成分が化学合成窒素のみから構成されることが想

定される肥料または床土の平均値は+1.8‰であった(表-1)。化学合成肥料の窒素がハーバー・ボッシュ法で空気中の窒素から合成されていると考えた場合、これらの肥料の δ¹⁵N 値は 0‰ となるはずであるが、No. 2 の肥料のように化学合成肥料と考えられるものの中にも+4.0‰と比較的高い値を示す肥料が認められた。No. 2 の肥料には硝酸性窒素含有とあるが、他の有機性の窒素も含んでいる可能性も考えられる。なたね油かすや大豆油かすなどのかす類を利用して製造された肥料の δ¹⁵N 値は平均+3.2‰であった。これは、堆肥化が進行していない肥料と考えられ、同位体分別が進んでいないため、δ¹⁵N 値が比較的低くなったと推察された。日本の肥料メーカーおよび独立行政法人の研究所で作成されたもので、微生物処理または堆肥化処理が十分行われていると考えられる資材については、かす類とは異なりその δ¹⁵N 値は平均+12.2‰と高くなり、同位体分別が進んでいることが示唆された。アメリカおよびオランダで作成された資材は Organic 等の記述があるがその平均値は+

3.6‰であり、これらの資材の場合堆肥化された資材ではなく、なたね油かすなどの資材を加工したもの、または化学肥料が混合したものと推察された。Organomineral Fertilizer (PRIMAX) の $\delta^{15}\text{N}$ 値は Organo-と有機資材であるような記述となっているが、 -1.3‰ と化学肥料並に低い値となっていた。これは、この肥料が有機物のみで構成されているのではなく、化学肥料を相当量含む肥料であることが想定された。海外で生産されたいわゆる有機資材についてはこれまでに分析したものの中には含まれていないため(中野ら, 2004), 新たな研究課題が生じた分析結果である。

これら種々の肥料を共通の床土(クレハ園芸培土)に混和して、コマツナを生育させる実験系のため、肥料の $\delta^{15}\text{N}$ 値がコマツナの $\delta^{15}\text{N}$ 値に与える相対的な影響の評価は可能と考えられる。本植物体の $\delta^{15}\text{N}$ 値は肥料の $\delta^{15}\text{N}$ 値と直線回帰でき、回帰式は $Y(\delta^{15}\text{N} \text{ 値, コマツナ}) = 0.96X(\delta^{15}\text{N} \text{ 値, 肥料}) - 3.6$ となり高い相関が得られた(図-2)。しかし、直線から逸脱した値も複数認められ、実験操作上の誤差が生じたことも一因と思われる。例えば、一枚のトレイの上で栽培を行ったため、トレイの中央部と縁の部分との生育の差も生じていた。より厳密な検討をするためには、セル間の十分なスペーシングを行い、また配置の無作為化を行う必要があったものと思われる。

Y 軸切片は -3.6‰ であり、 0‰ より低い値を取ったが、本来肥料がそのまま植物体に影響を与えるのであれば図-2の破線に示す直線で近似されることになる。直線が全体的に Y 軸に対してマイナス側にシフトしているということは、処理区全体に共通した原因があったことが想定された。クレハ園芸培土の $\delta^{15}\text{N}$ 値は $+3.35\text{‰}$ であり、この培土中の窒素の植物体への吸収が多いと、プラス側にシフトする可能性が考えられるが、実際はマイナス側にシフトしている。クレハ園芸培土の $\delta^{15}\text{N}$ 値は全体の分析値であり、初期に可溶化し植物体に吸収された画分の $\delta^{15}\text{N}$ 値については不明であるが、床土全体の値より低い値となる可能性が考えられ今後検討が必要である。また、灌水中に含まれる窒素の $\delta^{15}\text{N}$ 値については測定していないが、その原因として微量に含まれる灌水中の窒素が全体的に植物体の $\delta^{15}\text{N}$ 値を引き下げた可能性も推察された。すなわち、本実験の場合植物体の初期生育を対象としているため、施用した肥料が期間内に全て吸収しきれずに、相対的に床土の可溶性画分等に由来する窒素が植物体に大きく影響を与えたことが推察された。加えて、水に含まれる $\delta^{15}\text{N}$ 値が低かった可能性も推察

された。前報(中野ら, 2005)でも、量的管理により窒素施用を行ったトマトの $\delta^{15}\text{N}$ 値は、肥料から想定される値よりも低い $\delta^{15}\text{N}$ 値であり、低い窒素濃度で管理される場合、原水に含まれる窒素が相対的に多く利用されると考えられる。また、降雨に含まれる $\delta^{15}\text{N}$ 値は低いものではマイナス数 ‰ になるとの報告もあることから(倉持, 1999), このような低い水の $\delta^{15}\text{N}$ 値がトマトの $\delta^{15}\text{N}$ 値を低下させたことも考えられる。本実験の場合も同様のことが想定され、今後、ごく初期の生育で水に由来する窒素が無視できない状況にある場合は、水の $\delta^{15}\text{N}$ 値も測定して総合的に評価する必要がある。

2 施肥が4種類の葉菜類の $\delta^{15}\text{N}$ 値と無機成分等と与える影響

アカザ科のホウレンソウ、アブラナ科のチンゲンサイとコマツナ、キク科のシュンギクと、異なる科または種の葉菜類を用いて肥料の $\delta^{15}\text{N}$ 値が植物体の $\delta^{15}\text{N}$ 値に与える影響を検討したが、科および種による違いは認められず、肥料の影響の大きいことが明らかとなった。同様の検討を行ったトマトやトウモロコシ等他の果菜類についても同様の結果が得られていることから(中野ら, 2004; 中野ら, 2005), これらの結果は野菜全般について普遍的に認められる現象であるといっても過言ではない。

カリウムについては CDU や LSR の化学肥料区に比べ有機物を用いたそれ以外の区で高くなった。トマトについても、そのような傾向が認められていたが有意な差としては認められなかった(中野ら, 2003)。果菜類の場合、カチオンなどは一旦、茎葉部に蓄積され果実に転流されるため、果実中の差としては小さくなるのに対し、葉菜類では土壌のイオン条件を直接的に反映して差異が明確になったと考えられた。有機物を連用した土壌にはカリウムイオンなどカチオンの蓄積がされており(中野ら, 2003), 供給量の多少が植物体の濃度に反映されたと推察された。特に、用いた圃場は、カリウムの吸収量が他の元素に比べ相対的に多いトマトを6年以上連作しており、しかも窒素、リン、カリウムを同じ割合で含む肥料を連用してきたので、バランスとしてカリウム過少の状態にあったと言える(中野ら, 2003)。従って、カリウムを別に増施用すれば有機物を施用した農産物と同程度の含量になる可能性もある。これは化学肥料か有機質肥料かの差異ではなく、化学肥料区においてもカリウムの施肥量を増加させれば、今回の有機物を施用した区(CM + CDU, PM + CDU, CM + PM)と同等のカリウム含量を達成できる可能性もある。カリウムの吸収が少ない分、

CDU や LSR 区ではそれをナトリウムで補っていた。このような仕組みは報告事例があり（高橋ら, 1997）、カチオンとしての総濃度が維持されたため収量としては処理により大きく低下していない状況にあったといえる。土壤中での移動度が高いナトリウムイオン、カリウムイオン、マグネシウムイオンの植物体のモル当量の合計とカルシウムイオン濃度は逆相関し、相関係数も $R=0.64$ と比較的高かった。このことから考えて比較的吸收されやすいカチオンがカルシウムイオンの吸収を抑制していることが推察された。ミネラル吸収は総濃度として制御されていて、あるカチオンが過剰吸収されると相対的に他のカチオンの吸収が抑制される可能性がある。

マンガンの可給度は、有機質の多い土壌で減少するが（高木, 2002）、本研究ではハウレンソウなど一部の野菜で認められたに過ぎなかった。土壌の水管理は厳密に行っていないが、表面が常に濡れており過湿状態にあったと考えられ有機物連用圃場にあってもマンガンの可給度が高かった可能性があり今後検討を要する。

窒素含量については、コマツナで他の葉菜類より高く、コマツナのみ栽培期間が短かったことが影響している可能性もある。シュウ酸はハウレンソウのみに特徴的に認められた。ハウレンソウのアニオンについては、他の葉菜に比べ、硝酸、硫酸、塩化物イオンの総濃度が低く、イオンクロマトのピークにおいて、他の植物には認められないシュウ酸のピークが検出された。シュウ酸によりカチオンとの体内での電気的バランスが取られているものと思われる。シュウ酸はハウレンソウで、有機物施用により増加する傾向が認められており、今後検証する必要がある。

野菜は様々なミネラルの供給源として有効な食材であるが、特定の元素を富化する栽培を行うと他の元素が減少する可能性が考えられ、野菜に含まれる一元素の濃度の多少で栽培法が品質に与える影響を評価することは困難である。例えば、カリウムイオンの吸収が促進されればそれに伴い、カルシウムイオンなどの別のカチオンの吸収抑制も認められ、トータルのミネラル供給源としての野菜という観点から考察すると、一成分の含量の多少で施肥を評価するのは問題がある。このように多くの無機成分が変動する中にあって、 $\delta^{15}\text{N}$ 値は施肥窒素の影響を反映して差異を示すとともに、葉菜類の種類間での差異が認められないことが示された。

現在、GAP（適正農業規範）を実施するためには、多くの生産工程について記帳して情報を公開する方向にあるが、施肥については記入された肥料がその通り使用

されているかについて科学的に検証する手法はない。今回の結果に示すように、登録されている肥料について、 $\delta^{15}\text{N}$ 値のデータベースを作り、生産物の記帳されたデータからの施肥履歴と $\delta^{15}\text{N}$ 値の分析値を照合するシステムにより施肥履歴の科学的な検証に $\delta^{15}\text{N}$ 値を使用できる可能性が示された。

V 摘 要

葉菜類の $\delta^{15}\text{N}$ 値は化学肥料や有機質肥料、さらにそれらを混合した肥料等の異なる $\delta^{15}\text{N}$ 値を持つ肥料と正の相関が認められ、施用された肥料の影響を強く受けることが明らかになった（相関係数 $R=0.88$ ）。このような結果から、例えば肥料の $\delta^{15}\text{N}$ 値のデータベースを構築して、生産物の $\delta^{15}\text{N}$ 値を測定することにより施肥履歴の科学的な認証に使用できる可能性が示された。

異なる $\delta^{15}\text{N}$ 値を示す肥料（化学肥料、有機質肥料、化学肥料＋有機質肥料）が4種類の葉菜類（ハウレンソウ、チンゲンサイ、コマツナ、シュンギク）の $\delta^{15}\text{N}$ 値に与える影響を検討したところ、葉菜類の種類間に差異は認められず、施肥に由来する $\delta^{15}\text{N}$ 値の違いのみが認められた。

施肥が葉菜類の成分に与える影響については、一価カチオンに与える影響が大きかった。有機物施用（CM＋PM）が化学肥料施用（CDU）に比べて成分含量が増える事例は、4種類の葉菜類のカリウムとチンゲンサイのマグネシウムであった。

引用文献

- 1) 原田靖生(2001)：家畜排泄物の環境保全の利用。安田環・越野正義共編、環境保全と新しい施肥技術。pp92－94。養賢堂、東京。
- 2) 堀江秀樹・木矢博之・伊藤秀和・一法師克成・東敬子(2005)：キャピラリー電気泳動法によるハウレンソウ中の硝酸イオンおよび主要有機酸の同時分析。園芸学研究, 4(1), 95－98。
- 3) 木村武(2001)：有機物施用量の決め方。西貞夫監修、新編野菜園芸ハンドブック。pp185－186。養賢堂、東京。
- 4) 木村武(2005)：堆肥の環境保全的施肥法。石井龍一ら編著、環境保全型農業事典。pp644－649。丸善、東京。
- 5) 小山雄生(1990)：プラズマ発光分析法。日本土壤肥料学会監修、植物栄養実験法。pp142－147。博友社、東京。
- 6) 倉持寛太(1999)：V-2窒素負荷源解析への $\delta^{15}\text{N}$ 値の利用。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) 中野明正(2002)：果菜類における有機農産物認証の有無とそれらの品質および $\delta^{15}\text{N}$ 値との関係。農業技術, 57, 343－346。
- 8) 中野明正・山内章・上原洋一(2003)：堆肥施用がトマト

- 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.
- 9) 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.
- 10) 中野明正・川嶋浩樹・渡辺慎一・上原洋一（2005）：栽培法がトマトの収量と糖度および $\delta^{15}\text{N}$ 値に与える影響．野菜茶研研報，4，1-7.
- 11) 中野明正（2005）：有機性廃棄物を用いた養液土耕法の開発と窒素安定同位体比を用いた農産物施肥履歴の推定．野菜茶研集報，2，1-7.
- 12) 高木浩（2002）：マンガン．植物栄養・肥料の事典編集委員会編集，植物栄養・肥料の事典．pp523-524．朝倉書店，東京．
- 13) 高橋英一・前島一宏・岡崎美晴（1997）：カリウム供給量をかえて土耕栽培した葉菜類に対するナトリウムの施用効果．土肥誌，68(4)，363-368.
- 14) 米山忠克・森田明雄・山田裕（2002）：土壌-植物系における炭素，窒素，酸素，イオウ動態解析のための安定同位体自然存在比の利用：1994年以降の研究の展開．土肥誌，73(3)，331-342.

Effect of Different Fertilizers on $\delta^{15}\text{N}$ Values of Leafy Vegetables

Akimasa NAKANO* and Yoichi UEHARA

Summary

$\delta^{15}\text{N}$ values of leaf mustard were correlated with those of $\delta^{15}\text{N}$ values of applied fertilizers which were chemical, organic and mixed fertilizers. The correlation coefficient between $\delta^{15}\text{N}$ values of fertilizer and leaf mustard was $R=0.88$, and mostly liner proportional. These results suggested that by the creation of a database on the $\delta^{15}\text{N}$ values of the fertilizers, those $\delta^{15}\text{N}$ values could be useful for the scientific certification of fertilizer application on the fields. As for the effects of fertilizer on the contents of leaf vegetables, contents of one valence cations were strongly affected by the type of fertilizer (chemical or the organic). On the other hand, the difference of $\delta^{15}\text{N}$ values of fertilizers was reflected in that of the vegetables, and the manner of influence of fertilizer to the plant was the same among different kinds of vegetables; spinach (*Spinacia oleracea* L.), Bok choy (*Brassica campestris* L. var. *chinensis* (L.) Makino), garland chrysanthemum (*Chrysanthemum oronarium* L.), leaf mustard (*Brassica campestris* L.) .

Received: November 30, 2005

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