

北空知の稲作地帯で使われる堆肥の肥効成分

誌名	北農
ISSN	00183490
著者名	東田,修司 林,哲央
発行元	北海道農事試験場北農會
巻/号	79巻3号
掲載ページ	p. 323-333
発行年月	2012年7月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



<試験成績・研究成果>

北空知の稲作地帯で使われる堆肥の肥効成分

東 田 修 司* 林 哲 央**

要 旨

北空知で用いられる堆肥は北海道施肥ガイドに示される堆肥に比べて、窒素含有率は同等か高いことが多く、リン酸は高低相半ばし、カリは少ないことが多かった。リン酸含量は、添加した糞尿の量を反映して、石灰、苦土、亜鉛含量と有意な相関関係を示した。カリが低かった主な理由は、雨ざらし状態で流亡したためである。亜鉛、銅は下水汚泥、豚糞を使用した堆肥で高かった。窒素とリン酸含量をEC（電気伝導度）で推定することはできなかった。カリ含量はECによって推定可能だった。

1. 目 的

堆肥の施用は土づくりの要といわれる。稲作地帯である北空知地域でも、水稻育苗ハウス、転作作物、野菜・花きハウスなどで土の物理性改善などを意識し、堆肥施用に努力が払われている。

道東の畜産地帯では麦わら、廃乾草などを敷料として用い、牛糞尿を混合後堆積腐熟したものが堆肥として利用される。生産量が膨大なため、その利活用について集中的に試験研究がなされ（通称「糞プロ」）、堆肥の分析例も多い。一方、稲作地帯で用いられる堆肥の多くは、稲稈、籾殻などの圃場副産物を主体とする炭素源に、窒素源として糞尿などを混合し堆積腐熟したものである。畜産で生産される堆肥以上に炭素源、窒素源は多様性を有すると思われる。分析例は多くあるものの（北海道農政部 2005）、一定地域での実態を調査した例は少ない。

北空知地域では、収益向上をねらって花きなどの施設栽培が行われている。先の調査の結果、一部の土壤に養分の過剰蓄積傾向が認められた（東田ら 2012）。その原因の1つに施用する堆肥に含

まれる養分を施肥換算していないことがあげられた。近年の肥料費高騰の中、堆肥に含まれる養分を施肥換算することは、経費節減上の意義も大きい。そこで、北空知の稲作地帯で使われる堆肥に含まれる養分分量を把握する目的で、堆肥の化学分析を実施し、その内容を取りまとめた。

2. 実験方法

1) 堆肥試料の収集

番号1～12はJAきたそらち青年部から2011年春に提供いただいた。番号13は拓殖大学北海道短期大学で2011年春に購入し、圃場およびハウスに施用したものである。

試料入手後直ちに生重を測定し、ガラス室で風乾後、70℃2日間乾燥して水分含有率を求めた。その後、風乾物をウイレー粉砕機で粉砕して化学分析に供した。

2) 供試堆肥の概要

番号1～11は稲作の副産物である稲稈、籾殻を主炭素源とする。稲稈、籾殻が用いられるのは稲作地帯の特色である。番号12、13の炭素源は林産廃棄物である（表1）。

番号1～3は窒素源として糞尿を用いない。番号1は発酵促進のため石灰窒素、ウロンC（堆肥化促進資材）を混合した。番号4～8および番号11～13は発酵促進用の窒素源として牛糞を利用した。これらのうち、番号8、11、12は畜産農家がバーク、籾殻等を敷料に用い、糞尿と混合して堆

The research on the content of crop nutrients in manures used in Fukagawa district.

* 拓殖大学北海道短期大学環境農学科

Shuji HIGASHIDA

** 道総研花・野菜技術センター Tetsuo HAYASHI

積腐熟したものである。番号8を提供頂いたのは畜産農家であり、生産した堆肥は分譲して別の農家の転作作物などに活用される。他は、籾殻など自家生産(番号13のみ購入)した炭素源に別途入手した糞尿を混合し、堆積腐熟したものである。番号9および10は、それぞれ窒素源として豚糞、鶏糞を用いた。

また、番号11はわら類の形態を判別できず、完熟しているように見えた。番号4, 5, 7には乾燥前にミミズが観察された。

3) 分析方法

表1 供試堆肥の概要

番号	地域	炭素源	窒素源	堆積期間	その他
1	雨竜	籾殻	石灰窒素	36	屋根付き堆肥舎
2	妹背牛	籾稈	なし	6	
3	幌加内	籾稈, 畦草	なし	8	
4	沼田	籾殻	牛糞	12	下水汚泥混合
5	深川	籾殻, 籾稈	牛糞	18	
6	深川	籾殻	牛糞		
7	北竜	籾殻, 籾稈	牛糞	18	
8	深川	籾殻	牛糞	36	畜産, 屋根付き堆肥舎
9	雨竜	籾殻	豚糞	24	
10	深川	籾殻, パーク	鶏糞	36	
11	深川	敷料	牛糞		十勝の畜産農家から購入
12	秩父別	パーク	牛糞	12	畜産農家から購入
13	深川	パーク	牛糞	12	販売用

堆積期間は月数で表示した。

全ての項目を乾燥後粉碎した試料を用いて分析した。

pH, EC (電気伝導度) は、1 : 5 で水抽出し、それぞれ、HORIBA 製コンパクト pH メーター Twin pH B-212 型、コンパクト電気伝導度計 B-173 型を用いて分析した。全炭素はチューリン法で分析した。アンモニア態窒素は10%KCl 溶液で抽出したものを SPAD のアンモニア定量試薬 (富士平工業製) で、硝酸態窒素は脱塩水で抽出したものを適宜希釈し RQ フレックスで定量した。

全窒素, 全リン酸など表2に示す要素は、試料を硫酸、過酸化水素で分解処理し、分解液を適宜希釈し、所定の分光測定法、原子吸光測定法によって分析した。したがって、全窒素は硝酸態窒素を含まない。

3. 結果と考察

1) 分析値の概要

(1) 比較対象

北海道施肥ガイド2010 (以下「施肥ガイド」と表記する) は標準的堆肥の要素含有量, 減肥可能量を示すので、本稿ではこれを参考に堆肥成分の高低を比較した (北海道農政部 2010)。比較参照のために用いたのは畑作の値である。施肥ガイドには、窒素, リン酸, カリの乾物当たり含有率

表2 供試堆肥の分析値

番号	乾物率 %	全炭素 C%	C/N 比	pH 1 : 5	EC 1 : 5	アンモニア態 N・ppm	硝酸態 N・ppm	無機態 N・ppm
1	72	29.9	28.1	6.3	1.89	34	164	198
2	92	26.4	16.9	6.0	1.23	239	337	576
3	84	35.8	9.6	7.0	1.94	89	127	215
4	74	35.2	15.5	5.7	0.91	223	124	347
5	78	28.0	13.7	5.9	0.98	147	182	329
6	9	35.2	19.8	6.9	2.04	270	81	351
7	63	21.5	15.8	5.8	0.62	174	60	234
8	64	31.6	12.1	6.6	12.80	79	4,500	4,579
9	52	30.1	13.5	6.5	3.22	160	653	814
10	68	33.4	21.5	6.6	1.32	86	401	487
11	63	36.0	14.4	6.1	1.20	144	49	193
12	57	41.4	16.0	7.3	5.34	75	242	317
13	67	39.0	21.5	7.1	2.30	59	76	135

30 ←「北海道施肥ガイド」に示される値

乾物率は現物当たり, 他は乾物当たり。

pHとEC (電気伝導度・mS/cm) は乾物1 : 5水抽出液で測定した。

表3 供試堆肥の乾物当たり要素含有率

番号	全窒素 N%	全リン酸 P ₂ O ₅ %	カリ K ₂ O %	石灰 CaO %	苦土 MgO %	ナトリウム Na ₂ O %	亜鉛 ppm	銅 ppm	亜鉛/銅 比
1	1.06	0.20	0.98	0.41	0.13	0.21	51	7	7.3
2	1.56	0.44	0.48	1.13	0.56	0.30	67	14	4.9
3	3.74	1.19	0.82	1.73	1.27	0.27	84	24	3.5
4	2.27	1.89	0.49	0.78	0.79	0.27	455	162	2.8
5	2.05	0.92	0.29	0.80	0.70	0.25	128	24	5.3
6	1.78	1.23	0.97	0.82	0.81	0.29	118	18	6.5
7	1.36	0.87	0.69	0.59	0.68	0.26	114	22	5.3
8	2.62	2.47	3.42	1.24	1.24	0.67	283	33	8.5
9	2.24	4.55	0.95	2.50	1.31	0.31	442	146	3.0
10	1.55	2.84	0.64	3.45	0.70	0.24	256	39	6.5
11	2.49	2.74	0.28	1.67	1.38	0.21	351	50	7.1
12	2.59	3.07	1.90	1.49	1.33	0.55	165	27	6.2
13	1.82	2.23	1.13	1.79	1.26	0.41	169	29	5.8
	1.7	1.7	1.3	←「北海道施肥ガイド」に示される値					

は表記されないが、現物当たりの値から水分含有率を用いて換算し、表3に示した。なお、園芸の露地野菜の値も畑作と同一である。水稻では堆肥1 t当たりの要素含有量を示さないが、減肥可能量は畑作と一致する。

(2) 乾物率

番号6の乾物率は9%であり、施肥ガイドで示されるよりも著しく低かった。他の堆肥は50%を超えていた。ほとんどの堆肥が自家生産であり、散布しやすさなどを配慮して水分率を低下させた結果と思われる。当短大へは、取り扱いを容易にするため、さらに水分率を減らした試料が搬入されたと推察される。乾物当たりで求めた含有率を現物重当たりに換算するに当たって、表2の値をそのまま用いるのは不適切である。

(3) 全炭素とC/N比

全炭素は籾殻、稲稈使用のもの(番号1~9)ではおおむね20%台後半から30%台の範囲にあった。ただし、番号7は20%台前半であり、他と比べて大幅に低かった。バークを用いたものはおおむね30%台後半であり、籾殻使用の堆肥よりも高かった。籾殻で全炭素含有率が低かったのは多量のケイ酸を含むためと推察される。

C/N比は最低で9.6(番号3)、最も高いものは番号1の28.1であった。

(4) EC(電気伝導度)

ECの最低値は0.62mS/cm(番号7)だった。1.0以下は他に2点あり、1.0台の5点を含めると、半数は比較的低いECを示した。ECが1.0mS/cm以下だった3点ではミミズが観察された。北見農試の測定例によると牛糞堆肥のEC(30点平均)は2.5mS/cmだった(北見農試 2004)。稲作地帯屋根付き堆肥舎を設置する農家は多くない。堆肥は熟成期間に雨ざらしであるため、可溶性成分の一部が流亡し、ECが低下したと思われる。一方、最大値は、12.80mS/cm(番号8)であった。続いて高い値は5.34mS/cmであり、今回の測定試料中、最大値は頭抜けて高い値である。番号8の堆肥の提供者は畜産農家であり、屋根付き堆肥舎で熟成されたものだった。

既往の研究では、EC値は堆肥の全窒素、アンモニア態窒素、全リン酸、カリなどの含有率と相関性を示すので、それらの成分を簡易に推定する際に用いられる(北海道立農業・畜産試験場 2004)。本測定例では、ECの最も高い番号1の試料で硝酸態窒素も格段に高い値を示し、他のECの高い試料の硝酸態窒素も比較的高かった。しかし、ECが低レベルの番号2の試料で比較的高い硝酸態窒素を示すなど、ECと硝酸態窒素間には不一致もあった。ECとアンモニア態窒素、全窒素、全リン酸、石灰、苦土にも相関関係は得られなかった(表4)。

表4 ECと全リン酸の相関係数

項目	対EC	対全リン酸
全窒素	0.324	0.323
アンモニア態窒素	0.348	0.171
全リン酸	0.328	—
カリ	0.972**	0.271
苦土	0.401	0.719**
石灰	0.028	0.705*
ナトリウム	0.904**	0.347
亜鉛	0.162	0.756**
銅	0.062	0.572

*, **:それぞれ5%, 1%レベルで有意。

ECと相関関係の得られた項目は一価の陽イオンであるカリ、ナトリウムだった。特に、カリとの相関性は高かった(図1)。後に示すように、ECを用いて堆肥のカリ含有率を推定できる。

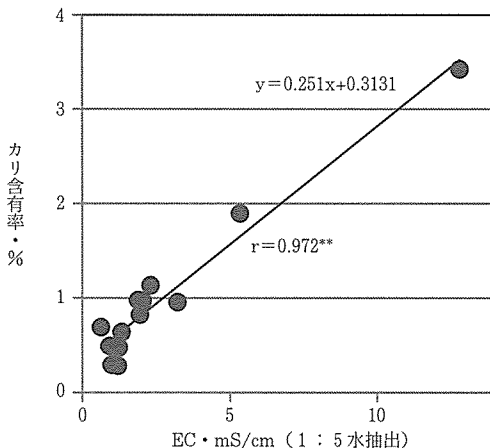


図1 堆肥中のカリ含有率とECの関係

**：相関係数が1%水準で有意

(5) 無機態窒素

無機態窒素はアンモニア態窒素と硝酸態窒素を合計したものとした。堆肥の腐熟過程で、切り返しを十分に行い好氣的な条件にすると、含まれるアンモニア態窒素は硝酸態窒素に変わる。アンモニア態窒素が高いことは、切り返し不足や堆積期間が短いことを示す指標となる(十勝農試 1992)。堆肥を長期間雨ざらし状態に置いた場合、生じた硝酸は降水によって洗い流されてしまうために、堆肥期間が長い場合には硝酸態窒素含有率も低下する。

本測定例のアンモニア態窒素は最大でも300ppm以下であり、十分腐熟した状態であること

を示す。

硝酸態窒素の最大値4,500ppm(番号8)は、0.45%に相当し、極めて高いレベルにある。畜産農家から提供された堆肥であることから、糞尿の混合割合が高いこと、屋根付き堆肥舎で硝酸が流亡し難い条件であったことなどが複合してこのように高い値となったと考える。この堆肥を春施用する場合には、大幅に窒素を減肥できる可能性がある。他の堆肥の無機態窒素は、これよりも1桁以上少ないので、施肥管理上考慮する必要性は低い。

(6) 全窒素

「施肥ガイド」に示される標準的堆肥の全窒素含有率は現物当たり0.5%であり、乾物率30%として乾物当りに換算すると1.7%に相当する。この値の上下20%の範囲(1.33~2.00%)を標準的、上20%を超えるものを標準以上、下20%を下回るものを標準以下とすると、標準以下は1点のみ(番号1)であり、標準的が5点、標準以上が7点であった。今回供試した堆肥はおおむね標準並みかそれ以上の全窒素を含むといえる。

最も低い試料は窒素源として糞尿を使わず、石灰窒素を用いる(表1)番号1だった。番号1は屋根付き堆肥舎で熟成されているので、堆積期間に窒素の流亡は起こらない。この結果から、石灰窒素の添加量はそれほど多くないと推察される。番号1の堆肥では、カリを除く全ての要素の含有率が供試肥料中最も低かった。これは堆肥へのリン酸、石灰、苦土などの投入が無い、または極めて少ないことを反映する。このような堆肥は、養肥分の過剰蓄積が懸念される圃場に、土壌物理性改善の目的で施用する場合に適する。全窒素の最も高い試料(番号3)も糞尿を使っていないが、畦草を混入、堆積している。番号3の堆肥は、リン酸、カリ、苦土、石灰も特に低くはなかった。一例のみではあるが、畦草は堆肥への窒素、その他のミネラル供給源として有効である可能性が示唆される。

糞尿を添加しない試料を除いて最も全窒素の低かった堆肥は、番号7(全窒素=1.36%)だった。

番号7の試料は、糞尿を用いた試料の中では全リン酸、石灰、苦土、亜鉛も最も低い。これらの要素は籾殻、稲稈には少なく、糞尿に多く含まれる。番号7では、もともと牛糞尿の添加割合が比較的少なかったと推察される。

他の分析項目中、全窒素と有意な相関関係を示した項目は苦土 ($r=0.745, 1\%$ 水準で有意) のみだった。

(7) 全リン酸

前項の全窒素と同様に、「施肥ガイド」の全リン酸の上下20%の範囲を標準的 (1.33~2.00%)、上20%を超えるものを標準以上、下20%を下回るものを標準以下とすると、標準以下は6点であり、標準的は1点のみ、標準以上が6点だった。全リン酸には標準的なものが小数であり、少ないか、多いかに分かれた。

リン酸は堆肥の成分中、流亡しにくい要素である。また、北空知地域で堆肥の原料として用いられる籾殻のリン酸含有率は乾物当たり0.06%程度であり (北海道農政部 2004)、極めて低い。そのため、堆肥のリン酸含有率は、原料 (籾殻などと糞尿の混合物) のリン酸含有率に支配される程度が大きい。最も全リン酸の高かった堆肥は、窒素源に豚糞を用いた番号9だった。全リン酸の高かった番号9~10では窒素源として使用した糞尿のリン酸が高く、番号8, 11, 12は、畜産農家であるため糞尿の混合割合が多かったと考えられる。番号13は販売を考慮して糞尿の割合を高めたと思われる。全リン酸から判断すると番号4および8~13は標準的な糞尿混合割合であり、番号5~7は標準よりも少ないと推察される。番号7の糞尿使用量は特に少なく、番号1~3では糞尿を用いていない。そのため、番号1, 2の全リン酸含有率は最も低く、糞尿混合割合の低い番号7がそれに続く。

全リン酸は、比較的多くの分析項目と有意な相関関係を示した。石灰とは5%、苦土、亜鉛とは1%水準で有意性が得られた (表4)。銅とは5%水準でも有意性は無いが、銅含量が特に高い番号4と9を除けば、相関係数は有意 (0.831**)

になる。これらの要素はリン酸と同様に堆積過程で流亡し難い要素である。また、籾殻やバークに含まれる量も多くない。そのため、これらの要素の多寡は糞尿の添加量にほぼ連動する。これを反映して、正の相関を生じたと考える。

(8) カリ

「施肥ガイド」に示される標準的堆肥の上下20%の範囲を標準的 (1.07~1.60%)、20%以上高い試料を標準以上、20%を越えて下回るものを標準以下とすると、標準的は1点 (番号13) に留まり、標準以上が2点 (番号8, 12) であり、他の10点は標準以下に区分された。今回測定した試料のカリ含量は標準的な堆肥に比べて低いことが多かった。

堆肥の原料として用いられる籾殻、稲稈のカリ含有率はそれぞれ、0.78%、2.29%ほどとされる (北海道農政部 2004)。これに糞尿から供給されるカリが加わる。しかし、供試堆肥の中には、籾殻の含有率をも下回る堆肥が6点も含まれた。カリは堆肥成分中、硝酸などと共に降雨等により流亡しやすい成分とされる。経営に畜産を組み込まない稲作地帯の農家では屋根付き堆肥盤を整備する例は希である。また、堆肥を腐熟させる場合に、最低でも一冬をまたぐことが多い (表1)。堆積期間中、融雪水などでカリの流亡が起こる機会は少なくない。以上から、今回供試した試料中、カリの低い試料が多かった主要因は、もともと堆肥原料中に存在したカリが流亡したためと推察した。

番号1の堆肥では窒素、リン酸を含めカリ以外の要素は、供試堆肥中最も低い含有率だったが、カリのみは0.98%であり、標準以下の区分の上限に近かった。この要因は屋根付きでカリの流亡が起こらない状態で熟成が行われたためである。籾殻自体のカリ含有率は0.78%程度であり、炭素の分解、消失によってカリ含有率は多少高まると見込まれる。

番号8, 12でカリが比較的高かったのは、両者とも畜産農家で生産され、屋根付き堆肥舎で管理されたためと考えられる。番号11は十勝の畜産農家から購入した堆肥であるが、カリ含有率は今回

の試料中最も低かった。遠方からの運搬であり、流通過程等で雨ざらしになる期間があった可能性が大きい。

カリはECと有意な正の相関関係を示した(図1)。他にカリと相関性の認められる分析項目は、ナトリウムのみだった($r=0.926^{**}$)。ナトリウムはカリと同様に家畜糞尿から供給され、共に降雨によって流亡しやすいために、有意な相関係数が得られたと考える。

(9) 石灰(カルシウム)

石灰はリン酸などとともに堆積中に降雨によって流亡しにくい成分である。そのため、今回の供試試料内でも全リン酸と石灰に有意な正の相関関係が得られた(表4)。他方、共にリン酸と相関関係のあった苦土との間には有意な相関関係($r=0.284$)はなかった。

石灰含有率の高かった堆肥は、番号9、10であり、それぞれ窒素源として豚糞、鶏糞を用いたことがその要因であろう。最も低かった堆肥は番号1だった。番号1には石灰窒素が混入されるが、その混合割合は分析値に大きく反映する程ではなかったことがうかがわれる。次いで低かったのは糞尿添加量が少ないと推察された番号7だった。

(10) 苦土(マグネシウム)

苦土の最も高い堆肥は番号11、次いで番号12であり共に畜産農家から購入したものだった。番号1、2を除いて低いのは、番号4～7および10だった。番号5～7では糞尿の混合割合が低いと推察される。

(11) ナトリウム

ナトリウム含有率のばらつきは、他の要素に比べて小さかった。比較的高い値を示した番号8、12はともに畜産農家で生産した堆肥だった。

(12) 亜鉛、銅

亜鉛は家畜糞尿を使わない番号1～3で低く、家畜糞尿混合割合が低いと推察された番号5～7のグループがこれに続いた。最も高かったのは、番号4および9であり、それぞれ下水汚泥、豚糞を混入したことがその原因であろう。亜鉛/銅の比率は番号4と9で高かった。これらの堆肥は亜

鉛ばかりではなく、銅も高いことが特徴である。

銅と亜鉛には有意な正の相関関係が認められた(図2)。亜鉛に対する銅の含有割合が特に高い番号4と9を除けば、相関関係はさらに高まる($r=0.941^{**}$)。牛糞を窒素源とする堆肥では当然、もともとの銅と亜鉛の割合はほぼ一定である。亜鉛は堆肥過程で流亡しにくい成分とされる全リン酸とも有意な相関があったので、銅、亜鉛ともリン酸と同様に流亡しにくく、堆肥原料の特性と添加量を反映しやすい成分であると思われる。

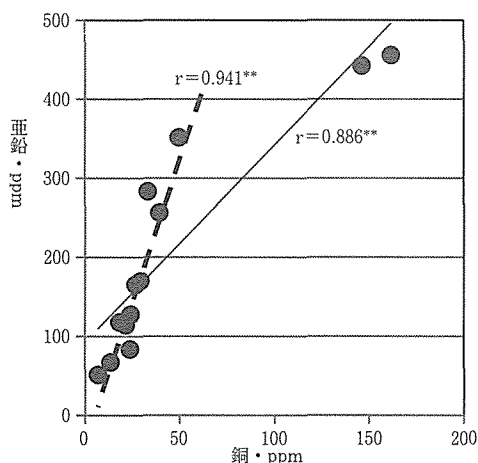


図2 堆肥中の亜鉛と銅含有率の関係
破線：銅含量の高い2点を除いた回帰直線
**：相関係数が1%水準で有意

2) 堆肥施用に伴う各要素の供給量

(1) 現物当りに換算するための水分含有率の設定

表2、3には乾物当たりの分析値を示した。実際に圃場に施用される際の堆肥は当然水分を含むので、堆肥に含まれる養分を評価するためには乾物当たりの分析値を現物当りに換算しなければならない。現物で一定量の堆肥施用を仮定すると、乾物当たり同じ成分を含む堆肥でも、水分を多く含めば圃場に入る養分の量は少なく、乾いた扱いやすい堆肥の場合には、多くの養分が圃場に入る。供試した堆肥の水分として、入手直後の水分を測定したが、ほとんどの試料で50%以上だった。既往の分析例でも堆肥の水分はばらつきが大きい

(北海道農政部 2005)。「北海道における有機質資材の利用ガイド」に紹介されている例では、籾殻牛ふん堆肥の水分含有率は74% (p60, 表3-28)である。施肥ガイドでは、堆肥の乾物率を30%に想定している。これらを準用し、堆肥の水分含有率を30%と想定して、以下現物1 t当たりの養分供給量を論議する。

(2) 窒素

供試した堆肥のほとんどは無機態窒素0.2kg/t以下だった(表5)。堆肥3 t/10 a程度以下の施用であれば、特段減肥対応は要しない。

番号8は本調査では例外的に1.4kg/tもの無機態窒素を含む。このような堆肥を施用する場合には含まれる無機態窒素量に応じた減肥が求められる。秋施用の場合にはほとんどの硝酸イオンは融雪水で流亡するので肥料分として見込めないが、硝酸含量の著しく高い堆肥を秋施用することは河川、地下水への硝酸負荷を低減する立場から好ましくない。

硝酸態窒素は硝酸イオン試験紙で測定できる。ただし、全ての堆肥の硝酸態を測定するのは効率的ではない。屋根付き堆肥舎で熟成され、かつ糞尿割合の高い堆肥を中心に実測すべきと考える。

有機物から供給される窒素量はC/N比に関連する。「北海道緑肥作物栽培指針」中(p8, 図3)には各種緑肥のC/N比と窒素無機化率の関

係が示されている。小野寺らも堆肥など有機質資材からの窒素供給量を有機物のC/Nとの関係で整理した(小野寺ら1998, 道立中央農試1996)。小野寺らの報告における施用1年目の窒素無機化量とC/N比の関係は、「北海道緑肥作物栽培指針」の傾向とほぼ一致する。C/N比と窒素無機化率を明確に示す「北海道緑肥栽培指針式」に示される式を用いて、本調査の供試堆肥の窒素無機化率を算出し、それをもとに窒素無機化量を求めた(表5)。式は以下の通りである。

窒素無機化率(%) = $124.6 - 34.7 \times \ln(C/N比)$

窒素無機化量(kg/t) = 窒素無機化率(%) / 100 × 300kg (= 1 tの堆肥に含まれる乾物量)

番号1の窒素無機化量は、0.3kg/tであり、通常の施用量の範囲であれば、あえて窒素を減肥しなくても良いレベルだった。他は標準的な堆肥と同等の1kg/tか、それ以上の減肥対応をとれる可能性が高い。当面堆肥1 t当たり1kgを目安に減肥に取り組み、家畜糞尿の混合割合が高い堆肥の場合には、作物の生育を見ながら必要に応じて窒素施肥量を増減させるべきと考える。

以上は、畑作および露地野菜を対象に考察した。施設では地温が高いため有機物の分解率が高まるので、窒素無機化量は露地よりも多い。

(3) リン酸

標準的な堆肥1 tは概ね5 kg程度のリン酸を

表5 養分供給量の推定

番号	無機態 N kg/t	N無機 化量 kg/10a	N無機 化率 %	リン酸 kg/t	カリ(kg/t)			石灰 kg/t	苦土 kg/t	ナトリウム kg/t	亜鉛 g/t
					実測値	推定値①	推定値②				
1	0.1	0.3	9	0.1	2.9	2.4	2.9	1.2	0.4	0.6	15
2	0.2	1.2	26	0.3	1.4	1.9	2.6	3.4	1.7	0.9	20
3	0.1	5.2	46	0.7	2.5	2.4	2.9	5.2	3.8	0.8	25
4	0.1	2.0	29	1.1	1.5	1.6	2.5	2.3	2.4	0.8	137
5	0.1	2.1	34	0.6	0.9	1.7	2.5	2.4	2.1	0.8	38
6	0.1	1.1	21	0.7	2.9	2.5	2.9	2.4	2.4	0.9	35
7	0.1	1.2	29	0.5	2.1	1.4	2.4	1.8	2.0	0.8	34
8	1.4	3.0	38	1.5	10.3	10.6	7.3	3.7	3.7	2.0	85
9	0.2	2.3	34	2.7	2.9	3.4	3.4	7.5	3.9	0.9	133
10	0.1	0.8	18	1.7	1.9	1.9	2.6	10.4	2.1	0.7	77
11	0.1	2.4	32	1.6	0.8	1.8	2.6	5.0	4.1	0.6	105
12	0.1	2.2	28	1.8	5.7	5.0	4.3	4.5	4.0	1.6	50
13	0.0	1.0	18	1.3	3.4	2.7	3.0	5.4	3.8	1.2	51

乾物率30%とし、堆肥現物1 t当たりの養分供給量を推定した。

含む。北海道施肥ガイドでは、このうち20%を施肥リン酸と同等に有効として減肥可能量を1 kg/tとした。表5では「施肥ガイド」と同様に堆肥に含まれる全リン酸の20%を堆肥からの養分供給量とした。府県ではこの割合を50%以上とする例が多い(愛知県 2006, 神奈川県 2007, 岩手県 2009)。また、土壌には作物にとって利用しにくいリン酸が多量に蓄積している。堆肥の施用は土壌微生物を活性化することにより、この蓄積リン酸を作物が吸収しやすいかたちに変えるともいわれる。従って、20%は安全を考慮した少なめの値である。

表5の推定値は以下の式から求めた。

$300\text{kg}(=1\text{ tの堆肥に含まれる乾物量}) \times \text{全リン酸}\% / 100 \times 20\% / 100$

リン酸供給量の特に少ない試料は家畜糞尿を添加していない番号1, 2だった。これらを除けば、リン酸の肥効率低めに設定したことから、施肥ガイドに示される1 kg/tを減肥して差し支えないと考える。

番号9はリン酸肥効率低めに見積もっても、2 kg/tの減肥が可能と算出された。他の堆肥も実際には1 kg/t以上のリン酸を供給できる可能性が高い。しかし、可給態のリン酸は土壌に吸着固定されるので、堆肥の施肥時期によっては、その効果が消失する可能性もある。それらを勘案すれば、現状では1 kg/tの減肥が安全と考える。一方、堆肥に含まれるリン酸は施肥リン酸とほぼ同様に土壌の有効態リン酸を高める(林 2011)。堆肥の施用により、土壌のリン酸蓄積は加速されるので、土壌診断に基づいた施肥対応を行うことで、リン酸を減肥することにつながる。

(4) カリ

堆肥に含まれるカリは、すべて硫酸カリ、塩化カリなど即効性の化学肥料に含まれるカリと同様に無機態である。また、土壌中のカリは堆肥中と異なり流亡しにくい。したがって、堆肥に含まれるカリは秋施用して降雨により堆肥から溶け出した場合にも、すべて翌年の作物にとって有効であり、その分を肥料から差し引くことができる。

堆肥はカリを多量に含むので、堆肥を施用した場合にカリの減肥は欠かせない。減肥を怠ると土壌にカリの過剰蓄積が起こる。しかし、堆肥を雨ざらし状態にするとカリが流亡する。今回の試料でも原料のカリ含量と雨ざらしの条件によって、堆肥のカリ含有率に大きなばらつきがあった。堆肥のカリ含有率とEC(電気伝導率)には正の相関関係があったので、これを利用すれば比較的簡易に堆肥のカリ含有率を推定することができる。図1の回帰式から得られた式①によって乾物当たりのカリ含有率を推定し、1 t当たりの供給量を推定した。また、「家畜ふん尿処理・利用の手引き2004」p59, 表4-4(北海道農政部 2004)にもECとDM(乾物率)による堆肥のカリ含有率の推定法が示される。その式による推定も試みた。用いた式は乳牛糞尿堆肥を対象としたものであり、式②に示した。本調査では、乾燥試料のECを測定したので、ECは表1の値、乾物率は100%とした。

式①カリ含有率(乾物%) = $0.2507 \times \text{EC}(\text{mS}/\text{cm}) + 0.3131$

式②カリ含有率(乾物%) = $0.1341 \times \text{EC}(\text{mS}/\text{cm}) + 0.0071 \times \text{DM}(\text{乾物率}100\%) - 0.0412$

推定の結果(表5)、実測値に比べて多少ばらつきが生じたが、両推定方式とも施肥への活用上問題ないレベルであると判断する。北空知の堆肥にはカリ含有率の低いものが多いことが予想されるので、カリ含有率の低い部分で多少精度の良い図1の式を用いる方が、より安全である。

ECからカリを推定できない場合には、家畜糞尿添加量の少ない堆肥、堆積期間の長い堆肥では2 kg/t、家畜糞尿を添加し、雨ざらし期間の短い堆肥は4 kg/t程度とするのが現実的と考えた。

(5) 石灰(カルシウム)

堆肥に含まれる石灰の量にも大きなばらつきがあった。石灰はもともと土に交換性として存在する量に比べて堆肥施用による投入量は少ないので、当座の養分としての効果は期待できない。長期の堆肥連用で土壌pHは高まるので、高まり過ぎないように土壌診断を実施して炭酸カルシウムの施用頻度と量を調節すべきである。

(6) 苦土（マグネシウム）

カリと同様に堆肥に含まれるほとんどが無機態であり、作物に有効である。ただし、カリに比べて土壤中では流亡しやすく、蓄積効果はないと考えるべきである。秋施用の場合には減肥対象としない方が安全である。ただしトマト、キュウリ、テンサイ、コムギなど深根性作物では、秋施用でも減肥できると推察する。春施用では、堆肥に含まれる量全てを有効として差し支えない。番号1を除けば1 tの施用により2 kg以上の苦土を供給できる。畑作物や野菜の苦土の施肥標準量は4 kg/10 a程度なので、2 t/10 a程度の堆肥を施用すれば、それ以上肥料として苦土を施用する必要はない。

なお、現在のところ施肥ガイドでは、堆肥に含まれる苦土を減肥の対象とはしない。北海道の農耕地における交換性苦土は、この20年間で横ばい～やや減少傾向にあり（道立中央農試ら 2010）、堆肥施用時に苦土施肥を削減する場合は、土壤診断を併用して交換性苦土を適正水準に維持するよう留意する必要がある。

(7) ナトリウム

テンサイにとっては有効な成分であり、チリ硝石の形で施用する。農家慣行のテンサイへのNa₂O 施用量は2～4 kg/10 aである。堆肥中のナトリウムもカリと同様に作物にとって有効である。カリよりも土壤中で移動しやすいものの、秋に施用された堆肥に含まれるナトリウムのほとんどは根圏内に留まると思われる。近年、テンサイ根中のナトリウム濃度が高まって精糖上問題になっている。テンサイの場合には、堆肥に含まれる全量を減肥できると推察する。したがって、3～5 t/10 a程度の堆肥を施用すれば、ナトリウム施用の必要は無い。

堆肥に含まれるナトリウムの過半は、飼料中の塩化ナトリウムに由来する。仮に、ナトリウムの共存アニオンの全てが塩素だと仮定すると、供試堆肥中ナトリウムを最も多く含む番号8（2.0 kg/t）に含まれる塩素の量は2.3 kg/tである。この“2.3 kg”は、カリ3 kgを含む塩化カリに含ま

れる塩素量と同等である。西宗らは、塩化カリを用いてカリ8 kg/10 aを施用し、ジャガイモ、マメ類で減収する例を紹介した（西宗ら 1974）。番号8の堆肥を3 t/10 a施用すると、塩化カリ中のカリ成分に換算して9 kg/10 aに相当し、西宗らが報告した8 kg/10 aを超える。このことから塩素含量が特に高いと想定される堆肥を春施用した場合には、ジャガイモ、マメ類で減収の可能性があると推察できる。しかし、秋施用の場合には融雪水で塩素が流亡するので、減収の危険性はない（道総研十勝農試 2012）。

一方、ナトリウム含量が1 kg/t程度の堆肥では、春施用でも減収の危険性は小さいと思われる。十勝農試の試験例では、春に畜舎から持ち出した堆肥を3 t/10 a程度施用することによって、ショウズは平均10%程度増収した（道立十勝農試 1994）。

(8) 亜鉛

堆肥に含まれる亜鉛は作物に有効と考えられる。吸い残しは土に蓄積し、土壤中の可溶性亜鉛を高める（古館 2004）。主要畑作物による亜鉛の持ち出し量は、10 a当たり年15 g程度である。供試堆肥中最も亜鉛含量の低い堆肥（番号1）でも1 t/10 aの施用で土壤中亜鉛の減耗を防ぐに十分である（表5）。

吸い残された亜鉛は流亡することなく土壤中に留まり、土壤診断の分析値である可溶性亜鉛濃度を高める（堀ら 2005）。今回の分析では番号4、9の亜鉛含量が高く、1 tの施用で120 g程度の亜鉛が土壌に残留する。10 a当たり堆肥3 tを10年間連用したとすると、3,600 g/10 aの亜鉛を土壌に投入したことになる。10 a当たりの土壌重量は、比重を1、土層深（耕起深）を25 cmとすると250 tとなる。250 tに対する亜鉛3,600 gは14.4 ppmに相当する。拓殖大学実験実習農場の可溶性亜鉛は5 ppm程度であり、これを初期値として、14.4 ppmが加わると亜鉛濃度は約20 ppmに達する。番号4,9のように亜鉛含有率の高い堆肥を連用すると可溶性亜鉛は急速に高まる。

下水汚泥は亜鉛濃度の高い資材として知られて

いる。その亜鉛濃度は800ppm近くに想定されている。水田では土壌の亜鉛含量に上限値が定められている。その値は1kg当たり125ppmであり、それを意識して石灰系下水汚泥の施用上限値を1t/10aと定めている（北海道建設部公園下水道課 1998）。下水汚泥を含む番号4の堆肥の亜鉛濃度は現物当たり137ppmであり、下水汚泥中の濃度の約1/6にあたる。下水汚泥を一般の堆肥で希釈したとしても、一定の農地にそれほど多くの量を施用できないことが理解できよう。

可溶性亜鉛の土壌診断基準値（適正值）は、2～40ppm（畑土壌、野菜土壌）である。40ppmに近づくと作物が障害を起こす恐れがあるので、安全をみて可溶性亜鉛20ppm以上の圃場には亜鉛を著しく高める方向にある資材を施用しない方がよい。番号4の堆肥を連用している花き栽培ハウスの可溶性亜鉛濃度は、30ppmを超えていた（東田ら 2012）。

(9) 銅

銅は有機物に吸着し不可給化する。牛糞堆肥程度の濃度（50ppm程度）では堆肥中の有機物に銅が吸着するので作物には効かない。土壌中の可溶性銅濃度もほとんど高まらない。濃度の高い豚糞（300ppm程度）では作物の銅吸収量を高めるといわれる。主要作物による銅の持ち出し量は、10a当たり年5g程度であり、今回の供試堆肥中銅濃度の最も低い堆肥でも1t/10aの施用で土壌中銅の減耗を防ぐに十分である（データ未掲載）。

3) まとめ

(1) 分析値の傾向

北空知地域で使われる堆肥の肥効成分には大きなばらつきがあった。その中で、窒素供給量は施肥ガイドで想定する堆肥と同等か、高いことが多く、リン酸は高低相半ばし、カリは低いことが多い傾向だった。リン酸は石灰、亜鉛、銅などとともに添加した糞尿類の量とそれらの要素の含有率を反映した。カリが低いのは、雨ざらしで堆積するために流亡したためと推察される。

(2) 目的に合った堆肥の活用

糞尿を全く施用しない番号1の堆肥は養分過剰蓄積圃場に物理性改善の目的で活用できる。しかし、この堆肥はカリを4kg/t程度含むので、カリの減肥は欠かせない。他方、糞尿混和割合の多いと思われる番号8、12の堆肥の施用と化学肥料の削減を組み合わせれば、大幅な施肥費削減効果が得られる。特別栽培農作物など化学肥料の使用量を抑えたい場合に活用できる。堆肥をより有効に活用するためには、家畜糞尿割合や堆積期間を調整することにより、利用の目的に合った堆肥とすべきである。

(3) 減肥対応

堆肥の施用に伴って減肥対応は欠かせない。減肥対応を怠ると、養分の過剰蓄積を招く。

今回の分析による堆肥1t当たりの窒素供給量の推定値にはかなり大きい場合がある（表5）。たとえば、番号3の堆肥を10a当たり3t施用すれば約15kgの窒素の供給が見込まれる。今回の分析値で窒素無機化量が大きいと推定された堆肥は、畦草を大量に鋤込んだ番号3と家畜糞尿割合が高い番号8だった。このような堆肥を用いるときには施肥ガイドに示される1t当たり窒素1kgを多少超える程度から減肥に取り組み、推定値を参考に、どこまで減肥出来るかを試行錯誤することによって、より適切な施肥量に近づけることができる。堆肥からの無機態窒素の生成は土壌微生物の分解作用によって起こるので、春先の低温条件では進まない。作物と作型によっては、大量の堆肥を施用しても、作物の初期生育確保のために速効性の無機態窒素（化学肥料）を必要とすることに留意する。

堆肥の施用に伴いリン酸、カリ、苦土の減肥は積極的に取り組むべきである。リン酸は分析値が無い場合には、糞尿混合量の特に少ない堆肥を除いて、施肥ガイドの値、1t当たり1kgを用いて問題ない。堆肥のカリ供給量には大きなばらつきがあった。カリの含量は簡便に測定できるEC（電気伝導度）によって推定できる。苦土は、特に糞尿添加の少ない場合を除いて、春施用であれ

ば2 t / 10 a 程度の施用で化学肥料としての施肥を省略できる。

土壌の養分供給力には緩衝作用があるといわれる。かつて、緩衝作用はおもに化学肥料や堆肥として供給される養分の過剰に対して発揮された。そのため、多少施肥量が多くても作物生産上大きな支障はなかった。しかし、今や土壌養分の蓄積が進み、過剰の養分供給は様々な問題を起こすようになった。養分蓄積の進んだ土は、養分供給量が少ない場合に大きな緩衝力を現す。そのため、堆肥からの養分供給を多少多めに見積もってもマイナス面は現れにくいと考える。

(4) 土壌診断の活用

成分の明らかな化学肥料の施用でも、ある程度の期間を経ると、生産物として持ち出される要素と投入される量の差異から土壌化学性に変化が起こる。堆肥の成分は不安定なので、堆肥を積極活用する場合には、化学肥料以上に養分収支のバランスが崩れやすい。土壌の緩衝力はある程度のレベルまではそれを補う。養分収支の偏りを是正する手段の一つが土壌診断である。土壌診断の頻度は通常3～4年に一度と考えられている（北海道農政部 2010）が、堆肥を施用する場合には、その間隔をできるだけ狭めて、施肥量を加減することが求められる。

農耕地の生産力を維持するためには堆肥の施用は欠かせない。堆肥の活用を合理的に進めるためには、前述のように目的に合った堆肥を施用すること、堆肥施用に伴う養分供給を化学肥料の施肥量に反映させること、土壌診断の頻度を高めて施肥量を調整すること、が重要である。

参考文献

- 1) 北海道農政部（2005）：北海道における有機質資材の利用ガイド。p56-66.
- 2) 東田修司，小山初枝，小島光利（2012）：深川市周辺花き栽培ハウスにおける土壌化学性の実態。北農79，310-316.
- 3) 北海道農政部（2010）：北海道施肥ガイド2010。社団法人北海道農業改良普及協会。p64.
- 4) 道立北見農試（2004）：豚糞堆肥・牛糞堆肥の作物および土壌への亜鉛・銅供給効果。平成15年度農業試験会議資料。
- 5) 道立十勝農試（1992）：パーク堆肥（針葉樹主体）の障害性簡易判定法。平成3年度北海道農業試験会議資料。
- 6) 北海道農政部（2004）：北海道緑肥作物等栽培利用指針。p87.
- 7) 小野寺政行，美濃健一，三木直倫（1998）：施用有機物および土壌窒素放出量予測に基づく露地野菜畑の窒素施肥管理。土肥誌69，79-84.
- 8) 道立中央農試（1996）：露地野菜の窒素施肥量を算出するための有機物と土壌窒素放出量の評価。北海道農業試験会議資料
- 9) 愛知県（2006）：農作物の施肥基準。農業改良普及資料815号。p190.
- 10) 神奈川県（2007）：神奈川県作物別施肥基準。p81
- 11) 奈良県（2009）：農作物の施肥基準。p16
- 12) 林 哲央（2012）：寒冷地の施設栽培における土壌診断と施肥管理法に関する研究。北海道立総合研究機構農業試験場報告129。p53.
- 13) 道立農業・畜産試験場（2004）：家畜ふん尿処理・利用の手引き。p59.
- 14) 道立中央農試ら（2010）：北海道耕地土壌の理化学性の実態・変化とその対応（1959～2007年）。平成21年度北海道農業試験会議資料。
- 15) 西宗 昭，藤田 勇（1974）：塩化物肥料の特性。北海道農業試験場研究資料4。
- 16) 道総研十勝農試（2012）：てんさいへの塩化カリ施用が後作物（ばれいしょ・豆類）に及ぼす影響。平成23年度北海道農業試験会議資料。
- 17) 道立十勝農試（1994）：小豆の収量・品質に対する各種有機物施用の影響。平成5年度北海道農業試験会議資料。
- 18) 古館明洋，志賀弘行（2004）：豚糞堆肥施用による土壌および豆類子実への亜鉛と銅供給効果。北農71。142-148.
- 19) 堀 兼明ら（2005）：家畜ふん堆肥を連用した野菜栽培農家圃場および試験圃場における亜鉛の蓄積実態。近中四農研報4。109-128
- 20) 北海道建設部公園下水道課（1998）：北海道の下水汚泥農業利用マニュアル。