

論 説

汚泥肥料で環境に やさしい農業を始めよう

東京農業大学

名誉教授 後藤 逸男

キーワード：汚泥肥料、窒素の肥効、リン酸の肥効、化学肥料代替率

1. 国産肥料原料として重要な下水汚泥

2015年度におけるわが国の総物資投入量16.1億トンに対して、その約35%に相当する5.6億トンの物資が廃棄物として排出され、そのほぼ半量の2.5億トンを生物系廃棄物が占めている。これらは、かつて有機性廃棄物あるいは生物系廃棄物と呼ばれ、厄介者扱いされてきたが、現在ではバイオマス資源と呼ばれ、再生利用

すべき資源と位置づけられている。このバイオマス資源は、廃棄物系と未利用系、それに資源作物に分類される。廃棄物系バイオマス資源が従来の有機性廃棄物、未利用系バイオマス資源には農作物の非食用部分や林地残渣などが該当する。廃棄物系と未利用系バイオマス資源の種類・発生量・再生利用率を図1に示す。

1年間に発生するバイオマス資源中には窒素132万トン、リン酸65万トン、カリ85万トンの肥料成分が含まれていて、国内で利用される化学肥料中の成分量(窒

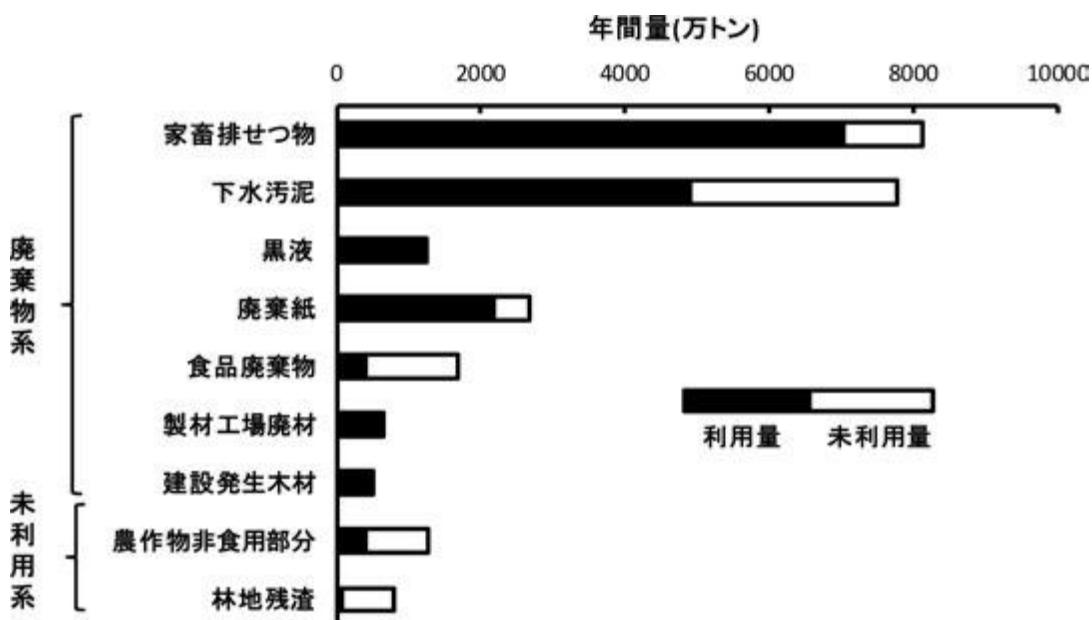


図1 バイオマス資源の年間発生量と再生利用量
(2016年農水省の資料より作成)

素54万トン、リン酸38万トン、カリ54万トン)を大きく上回っている。そのため、バイオマス資源は堆肥や肥料原料として有効活用することが望まれている。年間発生量が約8,000万トンと最も多い家畜排せつ物はその大部分が堆肥などとして農業利用されている。下水汚泥は家畜排せつ物に次いで多いバイオマス資源であるが、再生利用率は家畜排せつ物より低い。しかも、再生利用の大部分が下水焼却灰のセメント原料で、農業界や緑化業界での利用量は下水汚泥発生量の15%程度に過ぎない。**図1**から最も最も再生利用すべきバイオマス資源であることがわかる。

2. これまでの下水汚泥の農業利用（土づくり資材としての利用）

従来、下水汚泥の農緑化資材としての利用方法は主に堆肥化であった。家畜ふん堆肥と区別化するためか、堆肥ではなくコンポストと呼ばれていた。コンポスト(compost)は堆肥の英語名であるので、本来であれば同意語であるはずだが、家畜排せつ物やバークなどを原料とする堆肥は「堆肥」で、下水汚泥を原料とする堆肥は「下水汚泥コンポスト」あるいは単に「コンポスト」と農業生産現場では全く異なる資材として取り扱われてきた。ただし、両資材の用途はどちらも土づくりのための有機質補給源で、肥料というより土壤改良資材であった。そのため、施用量は10アール当たり数トンにも及んだ。家畜排せつ物も下水汚泥も排出側からすれば「やっかいもの」で、可能な限り大量に農緑地利用を望んでいたと思われる。

家畜ふん堆肥の中で牛ふん堆肥には乾物当たり3%前後のカリ、鶏ふん・豚ふん堆肥には乾物当たり6～7%のリン酸が含まれているため、トン単位での施用を繰り返せば土壤にリン酸やカリが蓄積することは当然である。一方、家畜排せつ物に含まれる窒素は堆肥化の過程でその多くがアンモニアガスとして揮散するため、堆肥の熟度が進むほど窒素含有量が減少する。アンモニア臭もなく放線菌のよい香りがするような完熟堆肥では、速効性の窒素成分はほとんど含まれていないため、多量施用しても土壤の塩類濃度を著しく高めることはない。また、施用直後の作物生育には悪影響を及ぼさないので、園芸農家特に施設園芸農家に好まれる。施設園芸では水稻や露地野菜に比べて単位面積当たりの収入が多いため、値段の高い堆肥でも購入できる。ただしその結果、土壤中へのリン酸やカリの蓄積をもたらすことになる。

一方、主に自治体が事業主体となっている下水処理場ではコンポストを販売して利益を上げようとしない。さらに、厄介者の下水汚泥がはければよいとのこ

とから、家畜ふん堆肥に比べて安価であったため、主に集約的な露地野菜産地で腐植を増やすための有機物資材として多く使われてきた。

その当時、コンポストの積極的農業利用を阻む課題がカドミウムや亜鉛などの重金属問題であった。後藤ら¹⁾は黒ボク土の畑に17年間に合計で30～40t/10aのコンポストを施用し、トウモロコシとオオムギの栽培を続けた。その結果、亜鉛含有量は年々増加したが、銅含有量はわずかしか増えなかつたことを報告している。また、岡本ら²⁾は、1979年より石灰系下水汚泥の7年間連用と施用中止後の4年間、合計11年間にわたる長期試験により、土壤中の亜鉛とカドミウム含有量が明らかに上昇したことを確認したが、汚泥施用量を乾物換算で10アール当たり1トン以内に留め、土壤pHを6.3以下にならないように管理すれば、作物収量と土壤環境に悪影響を及ぼさないことを明らかにしている。岡本らと同様の試験が他の地域でも実施され、1982年には下水汚泥の緑農地利用国際シンポジウム³⁾が開催された。しかし、それにより農家に「コンポストには重金属が含まれる」が定着したように思われる。

1999年には、肥料取締法の改正によりこれまで特殊肥料の「堆肥」として扱われてきたコンポストが「汚泥肥料」という普通肥料に分類されることになった。この際、コンポストを使ってきた農家に戸惑いがあったということを各地で耳にした。コンポストを使ってきた農家の中には、安価ということに惹かれ原料が何かを気にしない人も多かった。そのような農家が新しい肥料袋に記載された「汚泥肥料」を目にして、それ以降使わなくなったというような話であった。

それまでの下水汚泥の農業利用に関する研究といえば、ほとんどが汚泥中の重金属を対象とする内容であった。そのような中で、東京農大の増島らは農村集落排水汚泥コンポスト中のリン酸の肥効に関する研究を行っていた。それらの結果(未発表)によると、排水処理過程で添加される鉄系凝集剤の影響で、リン酸が不溶性のリン酸鉄として非可給態化するためリン酸の肥効が低いということであった。そのため、筆者はつい最近までコンポスト中のリン酸は効かないものと決めつけていた。そこで、飛びついたのが、下水汚泥焼却灰を原料とするリン酸肥料の研究であった。

2008年、中国がリン鉱石の輸出を禁止したいわゆるリン酸ショックは記憶に新しい。これを機に、下水からのリン酸肥料製造技術が一躍注目を浴びた。これまでに実用化されているリン酸肥料としては、リン酸マグネシウムアンモニウム(MAP: 化成肥料登録)、リン酸カルシウム(副産リン酸肥料登録)、などがある。筆者らも2001年から熔成汚泥灰複合肥料の開発に携わった。下水汚泥焼却灰に酸化カルシウムと酸化マグ

ネシウムを混合して1,400°Cの電気炉で還元熔融した後に水碎した資材である。製法と組成が熔成リン肥（熔リン）と類似することからエコ熔リンとも呼ばれ、2004年に熔成汚泥灰複合肥料という公定規格が設けられた。

これらリン酸肥料は下水汚泥焼却灰から化学的あるいは物理的にリン酸を分離した肥料であるため重金属問題は完璧に解消される。その一方で、MAPやリン酸カルシウムのようにリン酸塩を化学的に分離した肥料では、下水汚泥に含まれるリン酸以外の肥料成分まで除去されてしまう。その点、熔成汚泥灰複合肥料では、ケイ酸やマグネシウムなども残留するので、ケイ酸を必要とする水田用肥料としては他の下水系リン酸肥料より優れていた⁴⁾。ただし、製造に多額の費用を要するため現状でも実用化には至っていない。

3. これからの下水汚泥の農業利用（肥料代替資源としての利用）

(1) コンポストから肥料へ

上記のような経緯で筆者はこれまでに脱水分離液から製造するMAPや下水汚泥焼却灰を原料とするリン酸肥料に強い関心を抱き、それらの農業利用研究に関わってきた⁴⁾。その後、2017年5月には（公財）日本下水道新技術機構の「汚泥肥料評価委員会」の委員を

委嘱され、改めて下水汚泥の乾燥物や堆肥と向き合うことになった。本委員会の目的は、汚泥肥料を利用した農作物の栽培試験により、肥料としての効果を判定する。その結果に基づいて、汚泥肥料を活用するための技術マニュアルを作成することである。このプロジェクトには自治体から汚泥処理を請け負う民間企業2社と1団体が参画し、乾燥汚泥（下水汚泥肥料）1種と3種類の汚泥堆肥（汚泥発酵肥料）を対象汚泥肥料とすることになった。

なお、汚泥肥料を肥料として活用する試みがすでに（公社）日本下水道協会と（一財）日本土壤協会により行われている。その研究で実施された圃場栽培試験では汚泥肥料区の窒素施用量を全窒素含有量から算定している。化学肥料を对照肥料とした栽培試験結果によれば、汚泥肥料と栽培品目の違いによる変動が大きかった^{5, 6, 7)}。そこで、今回の栽培試験では、汚泥肥料の窒素無機化率から窒素施用量を決定することにした。

(2) 汚泥肥料の窒素肥効（窒素無機化試験）

供試した4種類の汚泥肥料は、当然のことながらいずれも肥料登録を受けているので、肥料として適正施用すれば安全性には問題ない。しかし、同じ普通肥料である化学肥料や有機質肥料とは異なり、三要素など肥料成分含有量は保証されず、含有を許される有害成

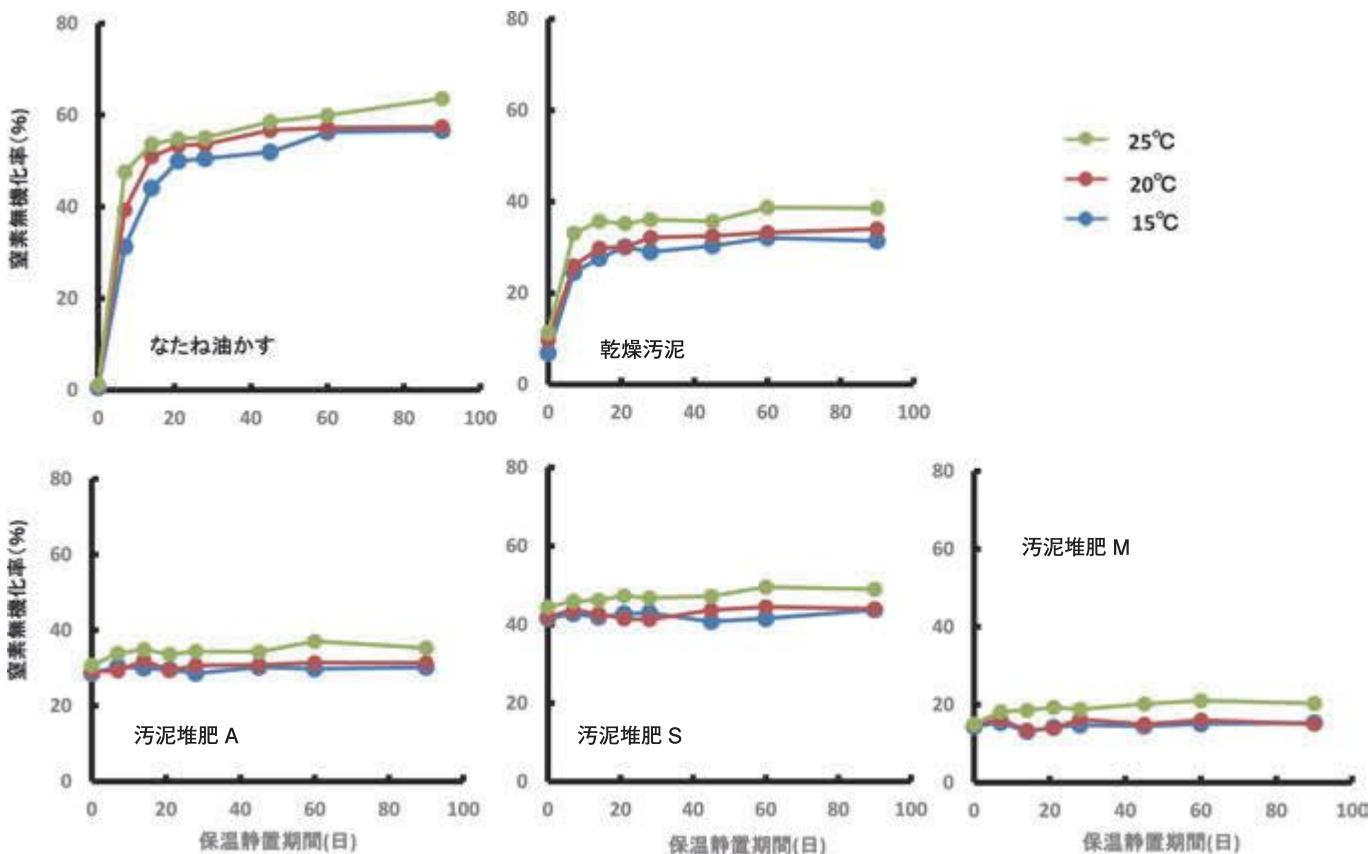


図2 汚泥肥料の種類別窒素無機化パターン

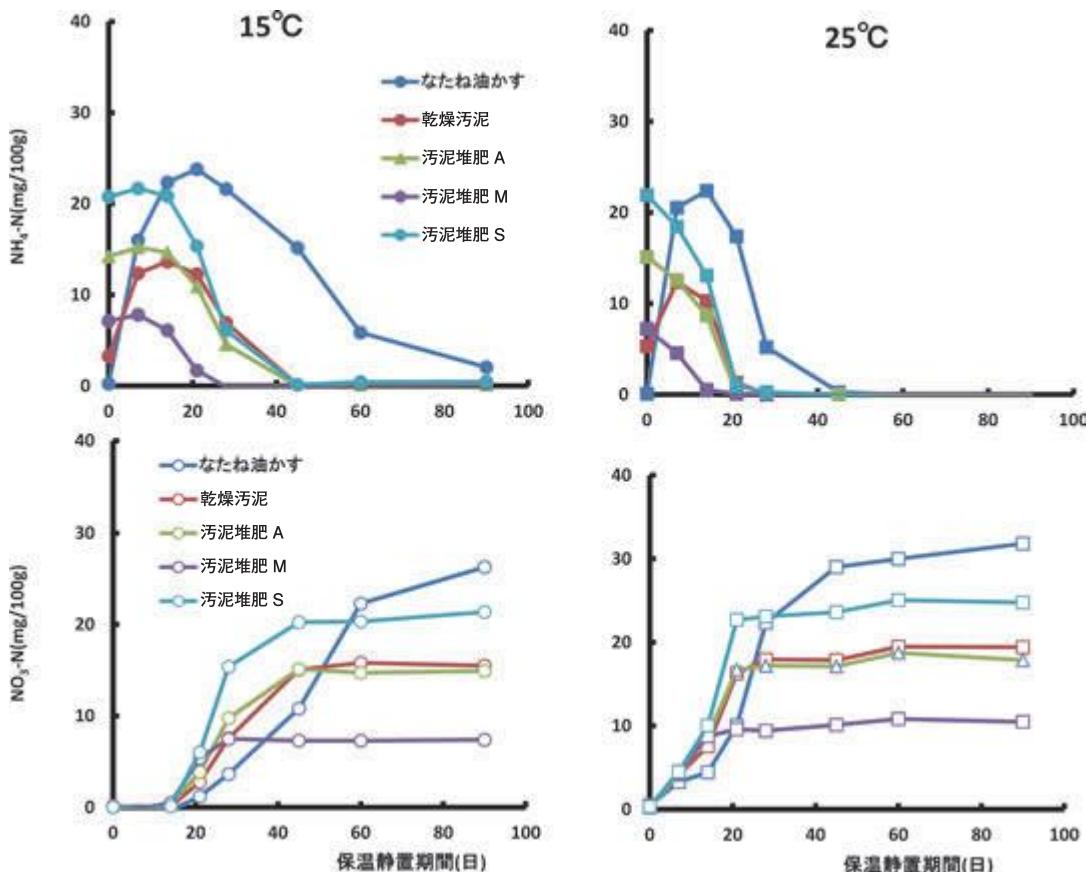


図3 汚泥肥料の種類別窒素無機化パターン (15°Cと25°C)

分（ひ素・カドミウム・水銀・ニッケル・鉛）の最大量が定められているのみである。供試4肥料のそれら有害成分量は基準量を大きく下回っていた。

そこで、汚泥肥料の施用効果を判定するには、肥料から作物に供給される肥料成分量の把握が不可欠で、そのための分析方法として窒素とリン酸の全量分析だけでは不十分である。作物生育に最も大きく影響する窒素供給量測定には窒素無機化試験、リン酸では肥料分析法として定められているク溶性および可溶性リン酸の分析が望ましい。カリについては、肥料中でカリウムイオンとして存在するので、全カリ量のみを測定すればよい。

乾燥汚泥1点と汚泥堆肥3点、対照有機質肥料としてなたね油かすの窒素無機化図を図2と図3に示す。この試験では、汚泥肥料を畑土壤に一定量（全窒素量として50mg/100g）施用して土壤水分を畑条件（最大容水量の約50%）とし、15、20、25°Cで3ヶ月間保温静置した。一定期間ごとに土壤中の無機態窒素量（アンモニア態窒素と硝酸態窒素）を測定した。なお、供試土壤には無機態窒素含有量が少なく窒素肥沃度の低い黒ボク土畑土壤を用いた。図2の縦軸は窒素無機化率で、施用した全窒素量に対するアンモニア態窒素と硝酸態窒素生成量の割合を示す。また、図3は無機化した窒素をアンモニア態窒素と硝酸態窒素に分けて図示した。保温静置0日とは肥料を土壤に混和直後の測定値である。

無機態窒素を含まないなたね油かすでは、施用後3週間程度をかけて緩慢に無機化した。3ヶ月後の窒素無機化率は約60%であった。乾燥汚泥には全窒素に対して5%程度のアンモニア態窒素が含まれていた。土壤混和後、急激な有機態窒素の分解に伴う無機化が認められたが、1週間程度でほぼ終了し、3ヶ月後の窒素無機化率はなたね油かすより低い30%程度であった。一方、汚泥堆肥には、全窒素量の20~40%に相当する無機態窒素が含まれ、そのほぼ全てがアンモニア態窒素であった。土壤混和後の無機態窒素の生成はほとんど認められなかった。供試した汚泥堆肥は製造過程で100°Cにも達する高温条件下で長期間の堆肥化を受けているため、分解できる有機物は堆肥化中に分解しきったことを示している。なお、各汚泥堆肥に含まれるアンモニア態窒素量が異なる原因は堆肥化時に添加する副材料の種類と量によると思われる。

これらの窒素無機化試験により、乾燥汚泥は土壤混和後に無機化するが、1週間程度で終了し、なたね油粕より速効的な窒素肥効を示すことが確認された。一方、汚泥堆肥には多量のアンモニア態窒素が含まれ、土壤混和後にそれ以上の有機態窒素が無機化することなく、アンモニア態窒素は土壤中での硝酸化成作用により、15°C条件では20~40日で、25°C条件では20日後に硝酸態窒素に変化した。その際の硝酸化成速度も

表1 供試汚泥肥料の養分含有量

試料	水分	N	C	炭素率	P ₂ O ₅ %			K ₂ O
	%	%			可溶性	ク溶性	全量	%
乾燥汚泥	28.2	5.08	31.6	6.2			4.55	0.23
汚泥堆肥 A	30.7	4.82	22.1	4.6			7.66	1.06
汚泥堆肥 M	33.8	3.49	21.7	6.2	4.44	4.54	4.78	0.70
汚泥堆肥 S	28.3	3.22	13.1	4.1	3.45	4.63	5.12	0.31

なたね油かすより速かった。汚泥堆肥は尿素や硫酸アンモニウム（硫安）のような窒素肥料に匹敵する肥料であることが明らかになった。

(3) 汚泥肥料のリン酸肥効（リン酸の形態別分析）

窒素無機化試験に供試した2種類の汚泥堆肥のリン酸形態別分析結果は表1のように、全リン酸に対するク溶率は80%程度、可溶率は90%程度であった。従来の下水汚泥では処理過程で鉄やアルミニウム系の凝集剤を添加することが多く、汚泥中のリン酸が植物に吸収利用されにくく形態になっていたが、最近では高分子凝集剤への変換が進み、リン酸の有効化が高まったと考えられる。従って、汚泥肥料のリン酸肥料としての有用性が期待できる。

(4) ポット栽培による汚泥肥料の肥効試験

窒素無機化試験とリン酸の形態別分析により汚泥肥料の肥料特性が明らかになったので、汚泥肥料中の窒

素とリン酸がどの程度化学肥料の代替資源となるかを1/5,000aワグネルポットを用いたチンゲンサイの栽培試験により検討した。

乾燥汚泥1点と汚泥堆肥3点の他に対照肥料として尿素と過リン酸石灰を用いた。供試土壌は無機態窒素と可給態リン酸の少ない畑土壤（黒ボク土）であるが、窒素無機化試験に供試した土壌とは採取地が異なる。施肥設計は表2, 3のとおりである。表2の化学肥料N0～N4区は窒素（尿素）施用量を変化させ、リン酸（過リン酸石灰）とカリ（塩化カリ）施用量は同一（0.5g/pot）とした。化学肥料P0～P4区はリン酸（過リン酸石灰）施用量を変え、窒素（尿素）とカリ（塩化カリ）施用量を同一（0.5g/pot）とした。なお、N2区とP2区は三要素をポット当たり0.5g施用した化学肥料標準区である。一方、4種類の汚泥肥料区には各肥料をポット当たり一律20g施用し、カリ肥料として塩化カリを汚泥堆肥中のカリと塩化カリ中のカリ含量がポット当たり0.5gとなるように施用した。

表2 汚泥肥料に含有される窒素の化学肥料代替効果

試験区	施肥量 ^{*1}	チンゲンサイ		化学肥料代替効果		窒素 無機化率 ^{*3}
		N 施用量	生育量	N 吸收量	N 代替量 ^{*2}	
	g/pot	g/pot		mg/pot	g/pot	%
化学肥料 N0	0.00	14.5	24.0			
化学肥料 N1	0.25	64.2	219			
化学肥料 N2	0.50	68.1	315			
化学肥料 N3	0.75	71.0	375			
化学肥料 N4	1.00	67.0	333			
乾燥汚泥	1.02	77.6	353	0.55	53.9	38.7
汚泥堆肥 A	0.96	75.9	326	0.46	47.9	36.5
汚泥堆肥 S	0.70	67.5	282	0.36	51.4	50.2
汚泥堆肥 M	0.64	59.6	155	0.15	23.4	21.7
平均				0.38	44.2	36.8

*1：全区にリン酸（過リン酸石灰）0.5g/pot、カリ（化学肥料区は塩化カリ、汚泥肥料区は不足分を塩化カリ）0.5g/pot 施用

*2：チンゲンサイの窒素吸收量より図4の回帰式を用いて算出した化学肥料相当窒素施用量

*3：図2の25°Cで保温静置60日後の窒素無機化率

表3 汚泥肥料に含有されるリン酸の化学肥料代替効果

試験区	施肥量 ^{*1} P ₂ O ₅ 施用量 g/pot	チンゲンサイ		化学肥料代替効果	
		生育量 g/pot	P ₂ O ₅ 吸收量 mg/pot	P ₂ O ₅ 代替量 ^{*2} g/pot	P ₂ O ₅ 代替率 %
化学肥料 P0	0	17.4	7.3		
化学肥料 P1	0.25	60.7	38.1		
化学肥料 P2	0.50	63.7	41.6		
化学肥料 P3	0.75	73.0	48.8		
化学肥料 P4	1.00	87.5	57.5		
乾燥汚泥	0.91	77.6	61.3	1.03	113
汚泥堆肥 A	1.53	75.9	66.0	1.08	70.6
汚泥堆肥 S	0.96	67.5	55.1	0.95	99.0
汚泥堆肥 M	1.02	59.6	60.0	1.02	100

*¹：全区に窒素（尿素）0.5g/pot、カリ（化学肥料区は塩化カリ、汚泥肥料区は不足分を塩化カリ）0.5g/pot 施用

*²：チンゲンサイのリン酸吸收量より図5の回帰式を用いて算出した化学肥料相当リン酸施用量

写真1に、ガラス温室内で52日間栽培した4種類の汚泥肥料区の生育を化学肥料標準区と比較した。左端の化学肥料標準区と比べて、同等あるいはそれ以上の生育を示した。写真2の上は乾燥汚泥区と窒素質化学肥料施用区（N0～N4）との比較、下の写真はリン酸質化学肥料区（P0～P4）との比較である。写真3の上下は同じように汚泥堆肥S区の生育を化学肥料区と比較した。これらの写真からも汚泥肥料の窒素あるいはリン酸の肥効が化学肥料標準区並あるいはそれ以上であることがわかる。なお、各試験区におけるチンゲンサイの生育重を表2、3中に記載した。

図4に、化学肥料区の窒素施用量に伴うチンゲンサイ地上部の窒素吸収量の変化を示した。その回帰式を用いて、各汚泥肥料区の窒素吸収量から化学肥料代替量を推定すると、0.15～0.55g/pot（表2）であった。また、各汚泥肥料中の全窒素に対する化学肥料代替率は23.4～53.9%（表2）であった。ここで、化学肥料代替量とは施用した汚泥肥料から作物に供給される窒

素量がどれほどの化学肥料施肥量に相当するかを示す値である。また、化学肥料代替率とは化学肥料代替施肥量が汚泥肥料中の全窒素量に占める割合である。例えば、汚泥堆肥A区ではチンゲンサイが326mgの窒素を吸収した。図4の回帰式から窒素施用量を算出すると0.46g/potとなる。この値が汚泥堆肥Aの窒素の化学肥料代替量である。汚泥堆肥A区の全窒素施用量は0.96gであるので、窒素の化学肥料代替率は47.9%となる。この値を窒素無機化率と比較すると乾燥汚泥と汚泥堆肥Aでは化学肥料代替率が無機化率を上回り、汚泥堆肥S、Mでは両値がほぼ同等であった。今回の窒素無機化試験とポット栽培試験には窒素とリン酸肥沃度の低い畑土壤（黒ボク土）を用いたが、同一土壤ではない。また、両試験の保温静置条件とチンゲンサイ栽培条件も同じではない。従って、厳密には両値を比較できないが、少なくとも窒素無機化率相当量あるいはそれ以上の窒素が作物に吸収利用されると見なされる。4種類の窒素質肥料代替率の平均は44.2%で



写真1 化学肥料標準区(N2)と4種類の汚泥肥料区におけるチンゲンサイの生育

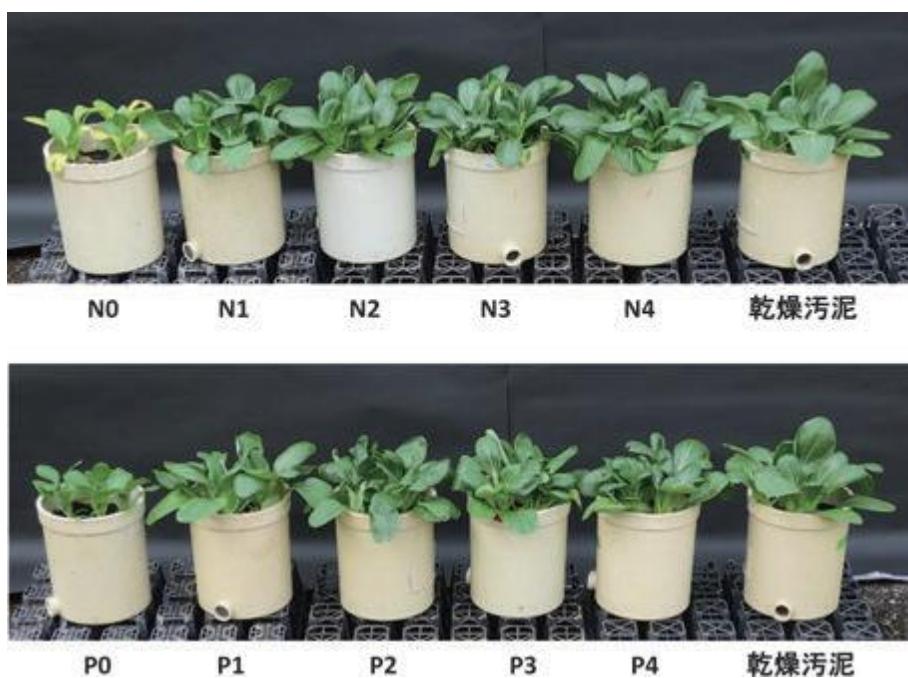


写真2 化学肥料区と乾燥汚泥（下水汚泥肥料）区におけるチングンサイの生育



写真3 化学肥料区と汚泥堆肥S（汚泥発酵肥料）区におけるチングンサイの生育

るので、窒素施用量を決定する際には、窒素の化学肥料代替率を50%と見なすことが適切と考えられる。なお、図2のとおり汚泥堆肥は土壤中でほとんど無機化しないことから、汚泥堆肥の化学肥料代替率を汚泥堆肥のアンモニア態窒素測定で決めることができると思われる。汚泥肥料中アンモニア態窒素の測定は全窒素より簡便で、アンモニア性窒素試験紙などを使うこともできる。この点は、今後の課題である。

図5に、化学肥料区のリン酸施用量に伴うチングン

サイ地上部のリン酸吸収量の変化を示した。窒素と同様の方法でリン酸の化学肥料代替量と代替率を表3に示す。汚泥堆肥Aでは代替率が約70%であったが、他の3点はほぼ100%あるいはそれ以上であった。特に、乾燥汚泥では約110%に達した。すなわち、汚泥肥料中のリン酸は化学肥料と同等程度の肥効を呈することが明らかになった。なお、化学肥料代替率が100%以上となる原因是、この試験で水溶性リン酸肥料である過リン酸石灰を施用したためである。この過

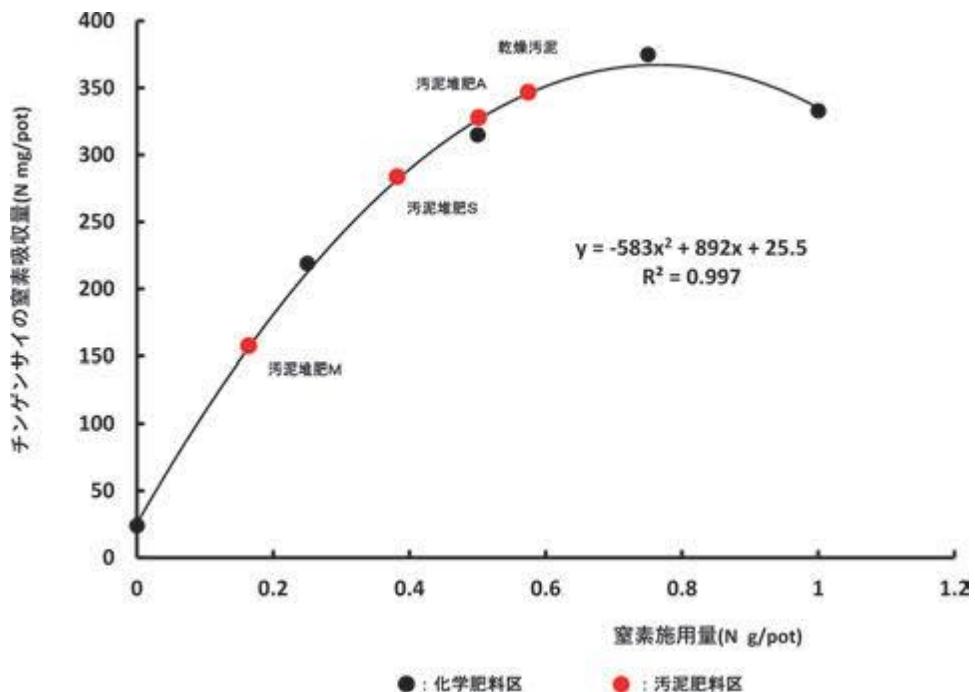


図4 窒素質化学肥料（尿素）施用量とチソゲンサイの窒素吸収量との関係

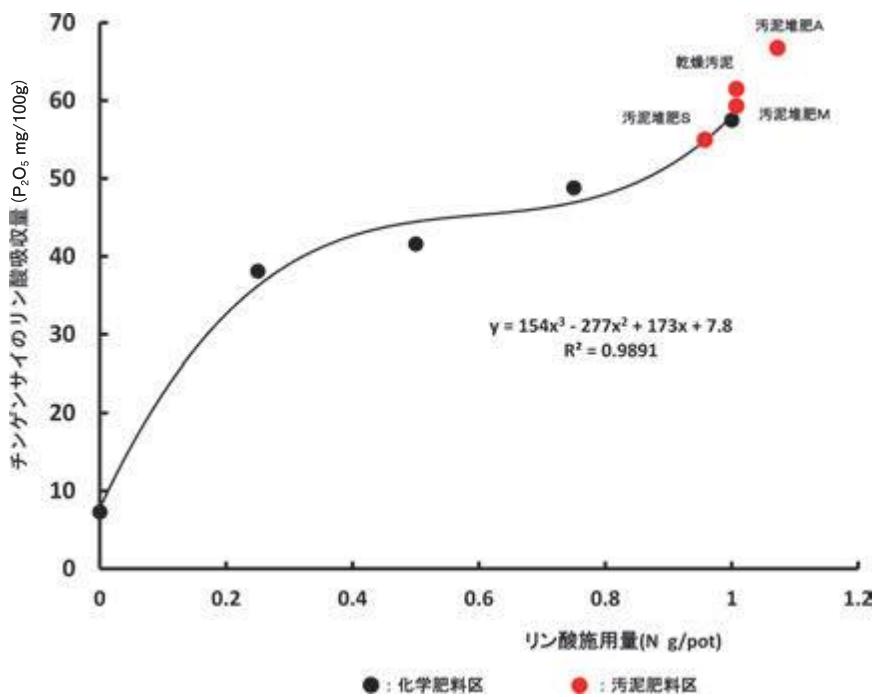


図5 リン酸質化学肥料（過リン酸石灰）施用量とチソゲンサイのリン酸吸収量との関係

リン酸石灰中のリン酸イオンが黒ボク土中の活性アルミニナに固定され、チソゲンサイへのリン酸供給量が減少したのに対して、汚泥肥料中のリン酸はアルミニナに固定されにくい状態にあったため化学肥料代替率が高まったと考えられる。従って、ク溶性リン酸肥料である熔成リン肥などを用いれば、今回とは異なる結果になるであろう。ただし、わが国ではリン酸肥料として過リン酸石灰やリン安などの水溶性リン酸肥料が多く使われているので、今回の試験結果は現状に即している

と判断される。

以上の結果より、汚泥肥料は化学肥料の代替肥料として極めて有望であると結論できる。窒素の化学肥料代替率は汚泥肥料4点中3点でほぼ50%であった。化学肥料代替率がその1/2程度と低かった汚泥堆肥Mは堆肥化原料として大量の木質チップを混ぜているためと思われる。また、汚泥肥料中のリン酸の化学肥料代替率はほぼ100%と見なしてよいと思われる。

(5) 汚泥肥料の適正施用量を決める方法

汚泥肥料の肥料成分分析、窒素無機化試験、ポット栽培試験結果から、野菜や畑作物栽培では次のように汚泥肥料施用量を決定することが望ましい。

①利用する汚泥肥料の全窒素・全リン酸・全カリの含有量分析を行う。

[事例] 汚泥堆肥 X : 全窒素4.0%、全リン酸5.0%、全カリ1.0%

②畑あるいはハウスの土壌診断分析を行う。

[事例]	畑 X-1	硝酸態窒素 3 mg/100g 可給態リン酸 20mg/100g 交換性カリ 20mg/100g
	畑 X-2	硝酸態窒素 3 mg/100g 可給態リン酸 150mg/100g 交換性カリ 20mg/100g

③各都道府県の施肥基準などを参考に、栽培する作物の施肥設計を立てる。

[事例] レタス栽培 窒素20kg/10a
リン酸15kg/10a カリ20kg/10a

④畑 X-1 への汚泥堆肥 X 施用量決定方法

方針：硝酸態窒素残存量は 3 mg/100g とわずかである。また、その程度の硝酸態窒素は降雨により流亡すると見なして窒素施用量を 20kg/10a とする。可給態リン酸と交換性カリは適量ないしやや少なめであるので、リン酸施用量を 15kg/10a、カリ施用量 20kg/10a と決定する。

汚泥堆肥施用量：汚泥堆肥 X 中の窒素の化学肥料代替率を 50% と見なすと、窒素施用量 20kg/10a をこの堆肥で賄うには 1t/10a 施用すればよい。その中にはリン酸が 50kg とカリ 10kg が含まれている。リン酸の化学肥料代替率を 100% とすれば、リン酸施用量は 50kg/10a、カリ施用量は 10kg/10a となる。リン酸は施肥量の 3.3 倍となるが、畑 X-1 ではリン酸が少なめであるので、当分は問題ない。ただし、汚泥堆肥を運用すれば可給態リン酸が徐々に増加するので、100mg/100g 程度以上に達したら、畑 X-2 のような施肥設計に切り替えることが望ましい。カリは 10kg/10a 分不足するので、硫酸カリ (K_2O 50%) 20kg/10a あるいは塩化カリ (K_2O 60%) 17kg/10a で補う。

⑤畑 X-2 への汚泥堆肥 X 施用量決定方法

方針：上記の畑 X-1 と同様に窒素施用量を 20kg/10a とする。可給態リン酸は過剰であるので、リン酸施用量を 10kg/10a に留めることが望ましい。その理由

は作物 1 作当たりのリン酸吸収量が数～10kg/10a であるので、リン酸施用量を 10kg/10a とすれば、この汚泥堆肥を運用しても、現状以上に可給態リン酸を過剰化させることはないとされる。

汚泥堆肥施用量：汚泥堆肥 X には 5 % のリン酸が含まれている。リン酸の化学肥料代替率を 100% とすれば、200kg/10a の汚泥堆肥 X を施用する。その中には、全窒素 8 kg、カリ 2 kg が含まれている。窒素の化学肥料代替率を 50% とすれば、窒素とカリ施肥量はそれぞれ 4.2 kg/10a となり、窒素で 16kg/10a、カリで 18kg/10a 不足する。そこで、その不足分を化学肥料や有機質肥料で補う。それらを尿素と塩化カリで補うとすれば、尿素 (N40%) 40kg/10a、塩化カリ 30kg/10a となる。

4. 4 地域で実証栽培試験を実施した

「汚泥肥料評価委員会」では、2018年 2月～2019年 1月に汚泥肥料を既存肥料代替肥料として活用するための実証試験を露地野菜畠 4ヶ所、施設野菜ハウス 1ヶ所、果樹園 1ヶ所、水田 1ヶ所で実施した。これらの栽培試験では、汚泥肥料の成分含有量の他に土壌診断分析と窒素無機化試験結果に基づいた施肥設計を立て、さまざまな農作物を栽培した。

その結果、汚泥肥料区では既存肥料（化学肥料と一部有機質肥料）区と同等の生育・収量・品質を示すことが確認された。それらの詳細については、2019年 5月頃に（公財）日本下水道新技術機構より公開される「下水道由来肥料の利活用マニュアル」を参照頂たい。

5. 汚泥肥料活用上の注意点

(1) リン酸過剰は土の免疫力を弱める

これまでに全国的規模で実施してきた地力保全調査（1959年～1979年）や土壌環境基礎調査（1979年～1998年）により園芸土壌のリン酸蓄積の実態⁸⁾が明らかにされてきたにもかかわらず、現状でもその傾向は続いている。その原因是、日本の畑土壌、特に火山噴出物を母材とする黒ボク土ではリン酸肥沃度が極端に低いためリン酸を多量施用することが農家の土づくり意識として慣習化してきたこと、さらには土壌のリン酸過剰が作物生育に悪影響を及ぼさないとされてきたことなどによる。

しかし、筆者らの研究により土壌のリン酸過剰がアブラナ科野菜根こぶ病⁹⁾、ジャガイモうか病¹⁰⁾、ウリ科ホモブシス根腐病¹¹⁾、フザリウム病害¹²⁾などの発病を助長することが明らかになった。土には元来土壌病害に対

する免疫力が備わっている。そのメカニズムは土壤中のアルミニウムが土壤病原菌の増殖を阻害するためである。リン酸は作物生育に不可欠な養分であるが、過剰化すればアルミニウムを不溶性のリン酸アルミニウムとして固定する。そのためリン酸過剰が土の免疫力を弱めてしまう。リン酸過剰は「土のメタボ化」の典型である。

汚泥肥料にはリン酸が多く含まれ、しかも化学肥料と同等の肥効を示すので過剰施用にはくれぐれも注意すべきである。汚泥肥料を活用する畑やハウスでは事前に土壤診断分析を行い、可給態（有効態）リン酸に注目する。その値が100mg/100g程度以下であれば、畑X-1のように窒素施用量を基に、可給態リン酸が100mg/100g程度以上であれば、畑X-2のようにリン酸施用量を元に施肥設計を立てる。

(2) 有機は善、化学は悪か

汚泥肥料を土づくり資材ではなく肥料として活用するには、化学肥料との併用が合理的である。畑X-1のような事例ではカリ肥料、畑X-2のような事例では窒素とカリ肥料を併用する必要がある。

「有機は善、化学は悪」と思っている農業生産者や消費者が少なくない。しかし、それは間違いである。有機質肥料は油かすや魚かすのように食品工業から出る副産物を主原料としているので確かに環境にはやさしく「善」である。化学肥料の原料も全て天然物で、決して「悪」ではないが、課題は日本には化学肥料の原料となる資源がないことである。そのため、肥料原料のほとんどを輸入に依存している。窒素やリン酸は肥料として農業生産に欠かせないが、農地から環境に放出されると水域の富栄養化をもたらす環境負荷物質

に一変し「悪」となる。また、肥料の他にも窒素やリン酸は食料としても大量に輸入されている。日本の環境を保全するには食料自給率ばかりでなく肥料自給率をも高める必要がある。そのような観点から、化学肥料の利用を最小限にとどめ、有機質肥料や汚泥肥料、家畜ふん堆肥、食品残渣加工肥料などの国産リサイクルバイオマス資源を活用することが環境にやさしい農業の基本となる。

(3) 汚泥肥料の過剰施用は環境にやさしくない

有機栽培こそ、環境にやさしい農業と思っている人も多いが、それも誤りである。半世紀以上にわたって無化学肥料・無農薬で野菜を栽培している全国的に有名な有機栽培農園の調査を行ったことがある。畑から作土を採取して30℃で1年間保温静置した結果、図6のように大量の無機態窒素が生成し、そのほとんどが硝酸態窒素であった。剪定枝と食品廃棄物を混合して作った堆肥と自家製ばかし肥を長期間にわたって施用し続けた結果、土壤中に大量の有機態窒素（地力窒素）が蓄積し、その分解に伴って生成した硝酸態窒素であった。その硝酸態窒素が降雨により下層に移動し、この農園内にある井戸の水からは環境基準を大幅に上回る硝酸性窒素が検出された。人の健康にたとえれば、土が糖尿病を患っているようなものだ。

図2の窒素無機化試験の結果、乾燥汚泥では土壤施用約1ヶ月後には窒素無機化がほぼ横ばいとなる。また、汚泥堆肥では土壤施用後の窒素無機化はほとんど認められなかつたが、全窒素量の約半分は有機態窒素として存在しているので、長期的には極めて緩慢に窒素が無機化して地力窒素が蓄積することも考えられ

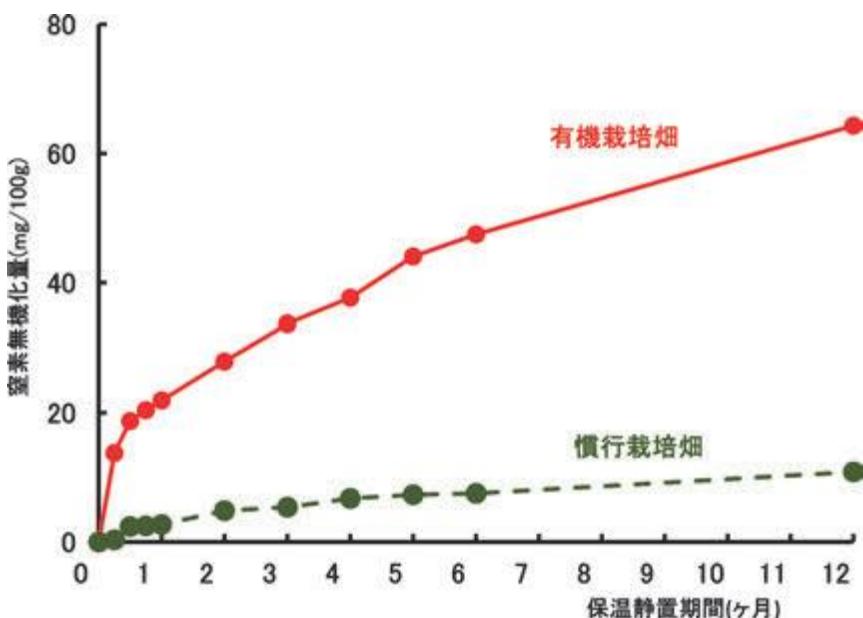


図6 有機栽培畑と慣行栽培畑における作土からの窒素無機化量の比較

る。そのため、汚泥肥料を上記のマニュアルを逸脱して長期にわたる過剰施用を続けると、環境にやさしいとはいえない長期有機栽培畑の二の舞になることも懸念される。汚泥肥料の活用に当たってはその点に充分注意すべきである。

6. 汚泥肥料を活用するための今後の課題

(1) 成型化などによる高付加価値化

今回供試した乾燥汚泥は約40%の水分を含んでいたため、入手した段階ではすでに一部の有機物が分解し、悪臭を発していた。現在、この乾燥汚泥は地元の利用組合に引き取られ、家畜糞尿と混ぜて堆肥化されている。今回の窒素無機化試験とポット栽培試験では風乾処理物を供試した。乾燥汚泥は汚泥堆肥より肥料成分含有量が多い。また、堆肥化を受けていないため窒素の化学肥料代替率が高いので、汚泥堆肥以上の化学肥料代替価値がある。現状の水分40%を微生物による分解を受けない水分までさらに乾燥し、ディスクペレッターで直径5 mmのペレット状に成型化する。汚泥堆肥では完成品を同様に成型して付加価値を高める。

市販されている化成肥料や配合肥料では多くが粒状化やペレット化され、ブロードキャスターなどによる機械散布に対応できる形状となっている。今後、汚泥肥料を化学肥料代替肥料として露地畑やハウスで活用するには、成型化して肥料価値を高めることが望ましい。なお、全国の水田では農作業の効率化を図るために水田面積の拡大が進められている、そのような水田に大量の汚泥肥料を施用するには、あえて成型化するには及ばない。

(2) 適正価格で販売するべき汚泥肥料

全国各地で汚泥肥料を活用した「ビストロ下水道」活動が活発化している。すばらしいことであるが、汚泥肥料を無償配付あるいは安価な価格で販売しているケースが多い。汚泥肥料を使う農家にとっては安い方がよいのは当然であろうが、肥料製造にはそれなりの経費を要するので、それなりの価格で販売すべきである。ただし、化学肥料や有機質肥料などの慣行肥料より安価にしなければ汚泥肥料の普及は期待できない。

例えば、畑X-1でレタスを栽培する際の施肥量を20-15-20kg / 10aとして、三要素を硫安・過リン酸石灰・硫酸カリの単肥で施用すると約14,000円の肥料代となる。窒素成分をなたね油かなどの有機質肥料とすれば、さらに高額になる。汚泥堆肥Xを1t/10aと硫酸カリより安価な塩化カリをカリ成分で10kg / 10a 施用すると、塩化カリ代が約1,200円であるので、汚泥堆肥Sの価格が1トンあたり約13,000円で化学肥

料代とほぼ同一になる。従って、農家が例えれば汚泥堆肥Xを1トンあたり5,000円で入手できれば、塩化カリと合わせた肥料代は6,200円となり、汚泥肥料の活用により肥料代を約56%削減できることになる。

(3) 国産リサイクル肥料で水田肥沃度を復活しよう

わが国の耕地面積442万ha（2019年度）の約半分を水田が占める。その水田土壤が疲弊し、リン酸過剰などによる「メタボ化」が進む園芸土壤とは対照的である。その原因は米の需要低下に伴う米価低迷や後継者・人手不足などによる堆肥やケイ酸質肥料、石灰質肥料の施用量激減である。まさに瀕死状態にある水田土壤を国産リサイクル肥料で救うことができる。その筆頭資材が汚泥肥料である。窒素とリン酸の肥効と共に適正土壤管理に不可欠な有機物を補給することができる。ただし、汚泥堆肥では窒素の肥効が速効性であるので、水稻生育後半に肥切れをきたす恐れもある。そのような場合には、窒素が緩効的に無機化する生ごみ堆肥¹³⁾の併用が有効と思われる。汚泥肥料中には、4~20%のケイ酸が含まれているが、その主な起源が下水に流入した土砂であるので、水稻への吸収はほとんど期待できない。水稻が最も多量吸収するケイ酸とアルカリ分による土壤酸性改良、それに水田老朽化対策に不可欠な鉄を同時に補給できる資材が転炉スラグである。

今後、水田での汚泥肥料活用を推進するには、湛水条件での窒素無機化試験による無機態窒素量と無機化速度や水稻のポット栽培試験による窒素とリン酸肥効の検討などにより水田版の汚泥肥料技術マニュアルの作成が望まれる。

(4) 汚泥肥料から「汚泥」を返上しよう

かつては下水汚泥コンポストを単に「コンポスト」、最近では「下水道由来の肥料」と呼ぶようになった背景には「汚泥」を使いたくないという想いがあったと思われる。農家や園芸愛好家だけではなく下水道関係者にとっても「汚泥」はあまりにもイメージが悪い。本報を執筆するに当たり筆者も迷ったが、肥料取締法で「汚泥肥料」と定められているので「汚泥」を使わざるを得なかった。

いまや、国を挙げてバイオマス資源の利活用を進めている中にあって、まずは国が率先して肥料名称の変更を検討すべきである。

7. 総 括

これまで、下水汚泥やコンポストの農業利用に関する研究の多くがカドミウムや亜鉛などの土壤や作物体

内の挙動を取り上げる内容であったが、本報ではあえてその点について追究しなかった。その理由は、肥料登録を受けた汚泥肥料を対象とすること、下水汚泥中のカドミウム含有量が減少している¹⁴⁾こと、これまで重金属のひとつとして見なされてきた亜鉛の微量元素としての重要性¹⁵⁾が認識され始めてきたことなどによる。

下水汚泥を肥料として活用するには、加熱乾燥した乾燥汚泥を下水汚泥肥料として、あるいは堆肥化して汚泥発酵肥料とする方法がある。乾燥汚泥中の窒素とリン酸の化学肥料代替効果は汚泥堆肥よりやや高い傾向にあったが、水分を20%程度以下まで乾燥する必要がある。また、下水汚泥特有の臭気を発するため、その軽減対策が望まれる。本報で対象にした汚泥堆肥3種類は、いずれも発酵温度が100℃近くまで上昇した完熟堆肥であった。その過程で有機物分解が進むので、土壤施用後の窒素無機化量はわずかにすぎなかった。これまで、汚泥肥料は化学肥料に比べて緩効的な肥効を呈するとされてきたが、汚泥堆肥は尿素などの速効性化学肥料に匹敵する無機化特性を示した。その一方、乾燥汚泥は土壤施用後緩慢に無機化したが、その分解速度はなたね油かすより速かった。

これまで、汚泥肥料中のリン酸はアルミニウムや鉄系凝集剤の影響で効きにくいとされてきたが、本報のポット栽培試験では水溶性リン酸肥料である過リン酸石灰を上回る肥効を呈した。その原因としては有機系凝集剤への転換が進んでいること、汚泥堆肥では副材料として米ぬかや食品廃棄物の混合などが考えられる。

以上のように、汚泥肥料は化学肥料代替肥料としてきわめて有望な資材である。経費を要するがディスクペレッターなどによる成型化で付加価値と散布効率を高めることも考慮すべきである。露地畑やハウス栽培では、土壤中のリン酸過剰をもたらさないよう施用量に注意する。適正施用量は本報の(5)汚泥肥料の適正施用量を決める方法に従って決定することが望ましい。すでに、土壤中の可給態リン酸が100mg/100gを超過しているような農地では、汚泥肥料施用量200kg/10a程度を上限とすべきである。

園芸土壤のメタボ化（リン酸過剰）とは裏腹に肥沃度が低下している水田に、汚泥肥料は最適の国産リサイクル肥料と思われる。その利用については、汚泥肥料の湛水条件での窒素無機化試験や水稻のポット栽培試験や現地栽培試験を経て、水田用技術マニュアルが作成されることを期待したい。

文献

- 1) 後藤茂子・茅野充男・山岸順子・熊澤喜久雄：下水汚泥コンポストの長期運用に伴う重金属の土壤への蓄積、土肥誌、第68巻2号 p.156～162 (1997)
- 2) 岡本 保：石灰系下水汚泥の農業利用に関する研究、神奈川県農総研報告 第146号 (2004)
- 3) 松崎敏英・和地 清：わが国における下水汚泥の農地還元、下水汚泥の緑農地利用国際シンポジウム会議録 26-42 (1982)
- 4) 後藤逸男：下水汚泥焼却灰を原料とするリン酸肥料の特性と肥効、再生と利用、Vol. 39 No. 148、6-15 (2015)
- 5) 井上恒久：平成25年度下水汚泥由来肥料の窒素肥効試験について、再生と利用、Vol. 39 No. 147 61-72 (2015)
- 6) (公財)日本下水道協会：下水汚泥由来肥料等の窒素肥効試験に関する調査報告書 (2015)
- 7) (公財)日本下水道協会：下水汚泥由来肥料等の窒素肥効に関する調査報告書 (2016)
- 8) 小原 洋・中井 信：農耕地土壤の可給態リン酸の全国的変動、農耕地土壤の特性変動(Ⅱ)、土肥誌、75、59-67 (2004)
- 9) 村上圭一・中村文子・後藤逸男：土壤のリン酸過剰とアブラナ科野菜根こぶ病発病の因果関係、日本土壤肥料学雑誌、75 (4)、453-457 (2004)
- 10) 後藤逸男・村上圭一：リン酸過剰が土壤病害を助長する、施肥管理と病害発生、75-112、博友社(株) (2004)
- 11) 大島宏行・前田良之・後藤逸男：ホモプシス根腐病の発病に及ぼす土壤の種類、施肥リン酸、土壤pHの影響、土肥誌、86 (2)、81-88 (2015)
- 12) 後藤逸男：園芸土壤のリン酸過剰がもたらす弊害とその対策、肥料科学、第38号、49～78 (2016)
- 13) (一社)全肥商連・全国土の会：平成28年度品目別輸出促進緊急対策事業のうち農産物輸出コスト低減対策特別支援事業報告書、(一社)全肥商連 (2017)
- 14) 国土交通省：下水道資源の安全性、BISERO下水道、p2 (2018)
- 15) 渡辺和彦：亜鉛の健康効果と土壤問題、肥料の夜明け、p102-115、化学工業日報社 (2018)

農業関係者向けの概要版・施肥量の設計ツール・新しい栽培試験データ等の情報を順次
日本下水道新技術機構ホームページ内「下水道由来肥料の利活用」ページに公開します。
URL : <https://www.jwet.or.jp/research-development/biomass/sewage-fertilizer>

photographing 2018.03



下水道由来肥料の利活用マニュアル
ダイジェスト版



土が元気になる!! 下水道由来肥料のチカラ



公益財団法人 日本下水道新技術機構

資源循環研究部 ☎ 162-0811 東京都新宿区水道町3番1号 水道町ビル7階 TEL: 03-5228-6511 / FAX: 03-5228-6512



下水道由来肥料が化学肥料と同等か
それ以上の効果があることが明らかになりました。
数種類の下水道由来肥料を使い5箇所で栽培試験を行いました。

「下水道由来肥料の利活用マニュアル(380ページ)2019年3月」完成
に伴い下水道由来肥料の利活用の
ダイジェスト版を作成しました。

下水道由来肥料
利活用マニュアルの目的

全国に整備された下水処理場において汚水の処理過程で発生する下水汚泥は、成分的および量的に肥料原料としての価値が高く、そこから生産された肥料は安定した純国産肥料として、地域にとって自給できる貴重な資源です。

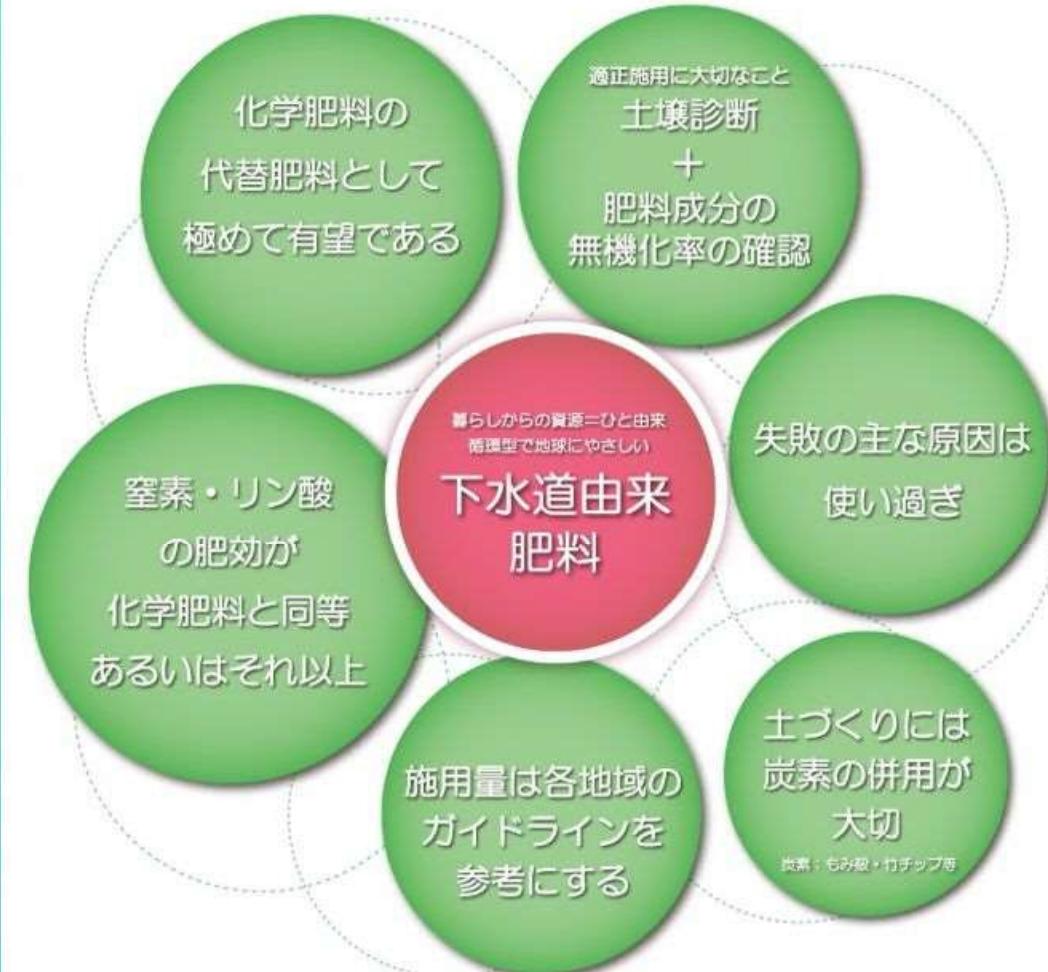
本マニュアルは、下水汚泥を原料に製造された肥料の作物栽培における施用効果を実例に基づき提示し、下水汚泥由来肥料の利用拡大と永続的な安定・安全・安心利用に資することを目的としています。



その結果を基に、
下水汚泥肥料等評価委員会の委員により評価されました



愛用者が感じていたことが 科学的に評価されました



下水道由来肥料は、他の肥料と何が違うのか!!

人は、多くの細胞の代謝により維持されている。代謝には酵素反応が大きく関わっており、その酵素には核としてミクロンが不可欠です。人の排泄物が集められ、それが微生物の餌となって浄化やエネルギー利用される下水道から微生物酵素となったりものを加工したものが下水道由来肥料です。下水道由来肥料には、他の肥料には見られない人由来のミネラル成分を豊富に含んでいることに大きな特徴があります。もう一つの特徴は、肥料の三大要素といわれる窒素・リン酸を豊富に含む。一方、カリは乏しいが、土壌中の微生物によって有機質が分解され補われます。

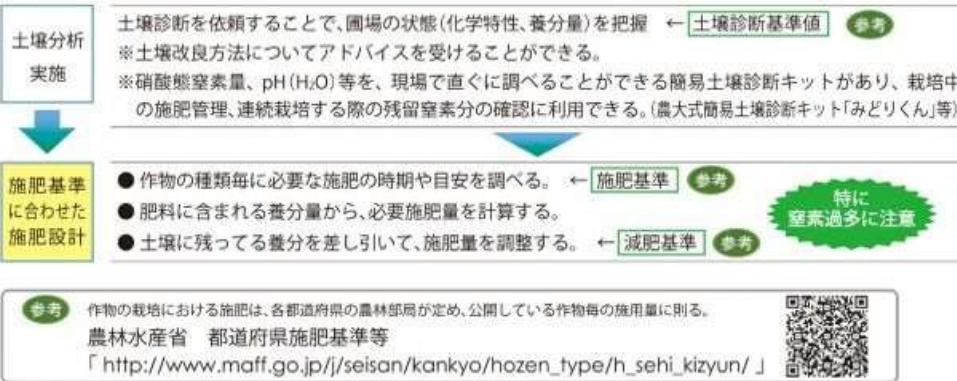
施肥設計／無機化試験

施肥量をどのように決めるのか

目的の作物の施肥量を設計するために、耕作する土壤の性状を知る「土壤診断」が重要です。下水道由来肥料を使用する場合、使いすぎが原因で窒素過多やリン酸過多になり、作物が上手く育たず、病気や害虫被害を増幅させてしまいます。また、硝酸態窒素による地下水汚染の原因となることもあります。

炭素成分(もみ殻・竹チップ等)を活用し、適切に施用することで、美味しい作物(秀品)が育ちます。

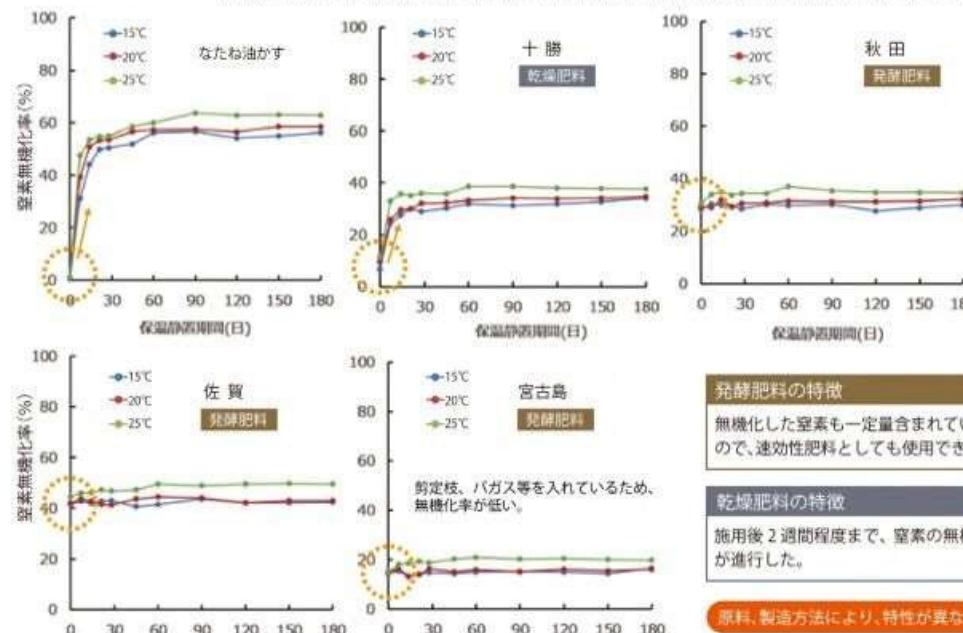
<適切な施肥設計の仕方>



無機化試験

供試土壤 100gあたり窒素量として、50mg/100g 加えて、15°C、20°C、25°Cの3条件で、保温静置

下水汚泥由来の肥料を扱うために、肥料生産者は「肥料・無機化試験」を行い、窒素効率の発現傾向と有効含有量を示す必要がある。



栽培試験 -1



ポット栽培試験

※東京農業大学 後藤名誉教授による試験

肥料中の窒素とリンがどの程度化学肥料の代替となるかを、チンゲンサイを用いたポット栽培試験により、調査しました。施用した肥料中の窒素・リン酸が、チンゲンサイにどれだけ吸収されたか調べることで、化学肥料代替率を計算しました。

窒素吸收量から、化学肥料代替量を推定すると、化学肥料代替率は、約 50% (宮古島除く)

供試肥料に含有される窒素の化学肥料代替 (施肥設計)

試験区	施肥量 N施用量 g/pot	チングンサイ 生育量 g/pot	化学肥料代替効果		窒素 無機化率 %
			N吸収量 mg/pot	N代替量 g/pot	
化学肥料 N0	0.00	14.5	24.0		
化学肥料 N1	0.25	64.2	219		
化学肥料 N2	0.50	68.1	315		
化学肥料 N3	0.75	71.0	375		
化学肥料 N4	1.00	67.0	333		
乾燥肥料 十勝	1.02	77.6	353	0.55	53.9
発酵肥料 秋田	0.96	75.9	326	0.46	47.9
発酵肥料 佐賀	0.70	67.5	282	0.36	51.4
発酵肥料 宮古島	0.64	59.6	155	0.15	23.4
平均				0.38	44.2
					36.8

※これまでの施用実績から、複数年、下水汚泥由来肥料を施用した土地では、蓄積された有機窒素が無機化するため、肥料の施用量を減らすことができることがわかっている。

<対照化学肥料>
・N=窒素：尿素
・P₂O₅=リン酸：過リン酸石灰

リン酸吸收量から、化学肥料代替量を推定すると、化学肥料代替率は、ほぼ 100%

供試肥料に含有されるリン酸の化学肥料代替 (施肥設計)

試験区	施肥量 P ₂ O ₅ 施用量 g/pot	チングンサイ 生育量 g/pot	化学肥料代替効果		P ₂ O ₅ 代替率 %
			P ₂ O ₅ 吸収量 mg/pot	P ₂ O ₅ 代替量 g/pot	
化学肥料 N0	0.00	17.4	7.3		
化学肥料 N1	0.25	60.7	38.1		
化学肥料 N2	0.50	63.7	41.6		
化学肥料 N3	0.75	73.0	48.8		
化学肥料 N4	1.00	87.5	57.5		
乾燥肥料 十勝	0.91	77.6	61.3	1.03	113
発酵肥料 秋田	1.53	75.9	66.0	1.08	70.6
発酵肥料 佐賀	0.96	67.5	55.1	0.95	99.0
発酵肥料 宮古島	1.02	59.6	60.0	1.02	100

ガラス温室内で52日間栽培した4種類の下水道由来肥料区の生育を化学肥料区と比較した。左端の化学肥料標準区と比べて、同等あるいはそれ以上の生育を示した。

化学肥料標準区(N2)と4種類の汚泥肥料区におけるチンゲンサイの生育



共同研究体の栽培試験

【栽培試験の目的】

栽培試験は、下水道由来肥料の土壤への影響や農作物の味・品質に与える効果について、従来の化学肥料等と比較評価することを目的に実施しました。



【解説】

秋田地区、佐賀地区、宮古島地区および十勝地区の4つの地域で、それぞれの地域特性に応じた作物の栽培試験を実施した。それぞれの地区で生産された肥料について窒素無機化試験を行うとともに、下水道由来肥料の施用実績がない圃場において、試験区と慣行区を設け、土壌診断を行った後、所轄の都道府県が示している作物種別の施肥量を基準に肥料施用量を定め、栽培試験を実施した。栽培期間中は生長の度合いを観察するとともに、収穫時には作物毎に収穫物診断を行った。

【結果】4つの地域で栽培試験を行った結果は、試験区が慣行区に比べ、同等かそれ以上となりました。
栽培を継続すると佐賀市のレタスの比較のように大きな差が出てくると思われる。

十勝での栽培試験

じゃがいも



※試験区：下水道由来肥料(乾燥肥料) ※慣行区：化学肥料

結果：試験区は慣行区とほぼ同等



とうもろこし



結果：慣行区よりも試験区のできばえが良かった



栽培試験 -2

秋田での栽培試験

※試験区：下水道由来肥料(発酵肥料) ※慣行区：化学肥料

米



結果：慣行区と試験区はほぼ同等

試験区	写真標本番号:28	慣行区	写真標本番号:5
項目	測定値	項目	測定値
穗数	29 本	穗数	28 本
稈長	945 mm	稈長	890 mm
穗長	205 mm	穗長	208 mm
根周り	最大径 65 mm	根周り	最大径 65 mm
根長さ	最長 160 mm	根長さ	最長 130 mm
根乾燥重量	62.7 g	根乾燥重量	60.6 g

りんご



結果：試験区は慣行区とほぼ同等



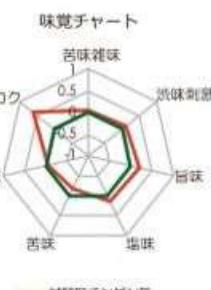
宮古島での栽培試験

二十日ネギ



結果：慣行区よりも試験区のできばえが良かった

チンゲン菜

※試験区：下水道由来肥料(発酵肥料)
※慣行区：なたね油かす

レタス下水道由来肥料と化学肥料による栽培比較

下水道由来肥料マニュアルのため栽培試験を行いました。以下の写真は、耕作放棄地を圃場とし、4月に栽培した後、11月に2期目の栽培試験を実施した結果です。レタス収穫調査結果では、2018年11月28日に収穫したものと日時も同じタイミングで比較してみました。佐賀市の農家が下水道由来肥料を継続して使っている効果を裏付ける結果となりました。



【試験区】		【慣行区】	
下水道由来肥料区	化学肥料区	下水道由来肥料区と化学肥料区の比較	根と首の状態を比較
株の比較	株の比較	下水道由来肥料区 首が太く、根の張りが大きい。水で洗っても取れないほど土をしっかりとつかんでいた。	化学肥料区 根が下にまっすぐに伸びていた。首が細く、頼りない感じがした。
玉の大きさ		玉の大きさ	
玉の大きさを確認 (※この日は霜が降っていた)	玉の大きさを確認 (※この日は霜が降っていた)	下水道由来肥料区 玉が大きく、下部の首がしっかりしていた。葉は葉脈がしっかりした感じに見えた。	化学肥料区 玉が小さく首の大きさも短くて小さかった。葉の特徴は、触ると表面がぬるっと剥がれた。もう一枚はがしても葉の表面は剥がれてしまった。これは、糖の蓄えが少ない状態を表す。
全量 1.97kg	全量 1.23kg	レタス全体と、葉の量・総重量を比較	
葉の量・総重量		※収穫時は、ほぼ同じような大きさに見えた。	
下水道由来肥料区 外葉をはがすと、上記のように玉の大きさに違いが出たが、さらに、外葉の枚数も多いことがわかった。総重量：1.97kg		化学肥料区 玉が小さいが、葉の枚数も少なかった。総重量：1.23kg	

レタス収穫調査結果 (佐賀市本庄町圃場)

2018/4/25 収穫【1期目】

項目	試験区	慣行区	比較
地上部全重 (g)	1192.8	1177.3	↑ 101%
全体球高 (cm)	23.9	22.4	↑ 107%
茎球径 (cm)	3.6	3.9	↓ 92%
調整球重 (g)	918.3	842.8	↑ 109%
外葉数 (枚)	7.4	8.7	↓ 85%
根長 (cm)	16.23	15.96	↑ 102%
根重 (g)	26.5	33	↓ 80%

※可食部は大きいが、根に差はみられない

2018/11/28 収穫【2期目】

項目	試験区	慣行区	比較
地上部全重 (g)	1220.1	865.7	↑ 141%
全体球高 (cm)	22.97	19.9	↑ 115%
茎球径 (cm)	3.54	3.16	↑ 112%
調整球重 (g)	816.8	560.6	↑ 146%
外葉数 (枚)	9.1	9.1	↑ 100%
根長 (cm)	24.49	23.91	↑ 102%
根重 (g)	30.1	25.1	↑ 120%

※可食部のみならず、根部も顕著に重くなっていた

上記のレタス収穫調査結果は、2018年4月25日【1期目】、11月28日【2期目】に収穫したものと比較したものです。1期目と比べ2期目では試験区と対象区の比較に大きな差が出ました。下水道由来肥料の愛用者が言う「初年度より数年使っていくうちに土がふかふかになり団粒化が進み、水はけと、保水性が良くなる」ことを裏付けるような結果となりました。

(耕作放棄地を使用)
試験圃場
【1期目】レタス(冬植え)：2018年2月～4月
【2期目】レタス(夏植え)：2018年9月～11月



白菜の栽培試験：この圃場は、3年前まで下水道由来肥料を使用していた圃場である。ここで下水道由来肥料（試験区）・化学肥料等（慣行区）で比較した結果、どちらも良く育ち、変化はほぼなかった。試験区は、マルチをめくると追肥部分に白根や細根が表面を覆っており、有用微生物が増え、根が栄養をよく吸収できることを表す。2018年11月28日収穫。

