

土壌への過剰養分蓄積を抑えたたい肥施用技術

(2) たい肥のリン酸、カリの肥効に基づく施肥

内藤健二*・佐藤一弘*

Compost Application Techniques to Control Nutrient Accumulation in Soils

(2) The Application Based on the Effects of Phosphate and Potassium

Kenji NAITO, Kazuhiro SATO

要約 有機質資材施用による土壌への過剰養分蓄積を防ぐため、たい肥、有機質肥料中のリン酸、カリ成分について形態別に調査した結果、それらに含まれるカリ成分のほとんどはク溶性であり、肥料成分として有効なものであると考えられた。このため、たい肥による化学肥料代替技術として、カリの標準施用量をたい肥に含まれるカリ成分で代替する施用法を検討した。この結果、葉菜類栽培ほ場においてたい肥を2作連用しても土壌中のカリ蓄積はみられず、適正な窒素肥効を考慮することにより収量性も良好となり、過剰養分を抑えるたい肥施用技術として有効であると考えられた。また、カリ成分の少ない汚泥発酵肥料について、リン酸の標準施用量を資材中のリン酸成分で代替する施用法を検討した結果、2作連用しても土壌中のリン酸蓄積はみられず、過剰養分を抑える施用技術として有効であると考えられた。ただし、リン酸のク溶率は資材により大きく異なるので、リン酸成分で代替する場合には事前に資材のリン酸ク溶率を把握する必要があると考えられた。

多くの作物栽培において、たい肥等の有機質資材が利用されており、その多くは化学肥料と併用して利用されている。有機質資材には肥料成分が含まれているため、その成分を考慮して利用することで化学肥料の代替資材として活用でき、土づくりのほか、肥料費低減にもつながると考えられる。しかし、施肥設計を行う際に、有機質資材に含まれる肥料成分を考慮せず、化学肥料成分のみから計算することが多く、この場合、有機質資材中の肥料成分は過剰成分となる。施肥による過剰の影響がわかりやすい窒素については、作物の状況等から減肥が行われることがあるが、リン酸やカリについては、施肥による過剰の影響がわかり

にくいいため減肥しないことが多く、その結果、土壌中に蓄積してしまうことが考えられる。特に、施用量が多いたいきゅう肥等では、繰り返し使われる中で、土壌中の特定な養分が過剰となり、生育障害や病害の要因となることが考えられる。また、たい肥等有機質資材は、リン酸やカリに比べ窒素の肥効率が低いものが多く、有機質資材の窒素肥効のみを考慮して施肥を行った場合には、リン酸やカリ等、窒素以外の養分が想定以上に投入されてしまうことが考えられる。

しかしながら、有機質資材に含まれるリン酸やカリの肥効を考慮した施肥設計の考え方は浸透していない。土壌中の養分過剰による作物への影響

*農産物安全・土壌担当

内藤ら：土壌への過剰養分蓄積を抑えたい肥施用技術(2)たい肥のリン酸，カリの肥効に基づく施肥

について，カリではキュウリの白変葉，サトイモの芽つぶれ症（土屋，1990），ブロッコリーの花蕾黒変症（鎌田，2010）ほか，多くの作物において，主にカリ過剰によるマグネシウムまたはカルシウム吸収抑制からの障害がみられている．リン酸については，過剰害は少ないと考えられていたが，近年，全国的に土壌中のリン酸含量が増加傾向なこともあり（吉池，1983，小原・中井，2004），リン酸過剰による障害が報告されてきている（川合ら，1993，村上・後藤，2007）．そのような中で，様々な有機質資材中のリン酸，カリの形態別有効成分に関する知見は少なく，有機質資材に含まれるそれらの肥効を考慮した適正施用は困難である．

そこで，本研究では様々な有機質資材に含まれるリン酸，カリの有効成分について検討するとともに，過剰施用とならないためのたい肥施用技術について検討した．

材料および方法

1 埼玉県で生産されるたい肥，有機質肥料中のリン酸，カリの形態別実態

県内で生産されているたい肥，有機質肥料計 44 点を収集し，それらのリン酸，カリについて，全量成分およびク溶性（2%クエン酸溶液可溶性）成分を調査し，ク溶率（ク溶性成分／全量成分×100）を算出した．

2 カリ上限を設定した有機質資材施用栽培による作物，土壌への影響

(1) 供試有機質資材

牛ふんたい肥，鶏ふんたい肥，豚ふんたい肥(成分値は表 1 のとおり)．

表 1 供試たい肥の成分値

たい肥原料	現物水分	窒素	リン酸	カリ	ク溶性	ク溶性	ク溶率(%)		pH
	%	%	%	%	リン酸%	カリ%	リン酸	カリ	
牛ふん	65.5	1.5	1.0	1.7	0.7	1.7	70.9	95.2	8.7
鶏ふん	23.0	5.8	4.2	2.8	2.7	2.5	63.1	91.8	7.7
豚ふん	19.5	4.0	8.4	3.6	7.5	3.3	88.5	90.0	8.4

(2) 栽培作物

コマツナ（1 作目），ハウレンソウ（2 作目）

(3) 試験場所

埼玉県農林総合研究センター水田農業研究所内露地ほ場（細粒褐色低地土）

(4) コマツナの栽培および試験区の概要

品種「楽天」を用いて，2010 年 10 月 19 日に播種した．試験区は，標準施肥量（窒素－リン酸－カリ＝20－20－20kg/10a）に対し，①標準施肥量の窒素成分全量を供試有機質資材で代替した区（以下，窒素全量区），②ク溶性カリ成分が 20kg/10a となるまで供試有機質資材で代替し，有機質資材の代替で窒素やリン酸が標準施肥量に達しない場合にはその不足分を硫酸や過リン酸石灰で補足した区（以下，カリ上限区）を設けた．①，②について，それぞれ有機質資材の窒素肥効を 30%，50%，70%と 3 段階で想定して試験した．また，窒素，リン酸，カリ標準施肥量を化学肥料で施用する区を対照区として設定した．1 試験区の規模は 8m² とし，調査用の作物採取は 0.5m² を 2 反復，土壌採取は 1 区 5 か所から採取しまとめたものを 2 反復行った．

(5) ハウレンソウの栽培および試験区の概要

品種「サマーステージ」を用いて，2011 年 4 月 12 日に播種した．試験区は，全ての区でハウレンソウの標準施肥量（窒素－リン酸－カリ＝15－10－10kg/10a）に対し，ク溶性カリ成分が 10kg/10a となるまで供試有機質資材で代替した．窒素肥効については，前作コマツナ栽培試験の結果から，牛ふんたい肥は 10%，20%，30%，鶏ふんたい肥は 50%，60%，70%，豚ふんたい肥は 30%，40%，50%と各資材 3 段階で想定した区を設けた．有機質資材の代替で窒素やリン酸が標準施肥量に達しない場合にはその不足分を硫酸や過リン酸石灰で補足した．試験は前作コマツナでたい肥の代替方法を変えたほ場で実施し，コマツナ，ハウレンソウの連作栽培におけるカリ上限施用による土壌への養分蓄積状況や収量性について検討した．また，窒素，リン酸，カリ標準施肥量を化学肥料で施用する区を対照区として設定した．調査用の作物採取は 1 区 20 株を 1 まとめにし，土壌採取は 1 区 10 か所から採取したものを 1 まとめにした．

3 リン酸上限を設定した有機質資材施用栽培による作物，土壌への影響

(1) 供試有機質資材

汚泥発酵肥料(成分値は表 2 のとおり)．

表2 汚泥発酵肥料の成分値

現物水分 %	窒素 %	リン酸 %	カリ %	ク溶性 リン酸%	ク溶性 カリ%	ク溶率(%)		亜鉛 mg/kg
						リン酸	カリ	
27.9	2.5	4.8	0.8	2.3	0.8	47.4	95.4	940

(2) 栽培作物

コマツナ (1 作目), ホウレンソウ (2 作目)

(3) 試験場所

埼玉県農林総合研究センター水田農業研究所内露地ほ場 (細粒褐色低地土)

(4) コマツナの栽培および試験区の概要

品種「なっちゃん」を用いて、2012年8月23日に播種した。試験区は、標準施肥量 (窒素-リン酸-カリ=20-15-18kg/10a) に対し、①標準施肥量の窒素成分全量を供試有機質資材で代替した区 (以下、窒素全量区), ②ク溶性リン酸成分が15kg/10aとなるまで供試有機質資材で代替し、有機質資材の代替で窒素やカリが標準施肥量に達しない場合には不足分を硫酸や塩化カリで補足した区 (以下、リン酸上限区) を設けた。①, ②について、それぞれ有機質資材の窒素肥効を30%, 50%, 70%と3段階で想定して試験した。また、窒素, リン酸, カリ標準施肥量を化学肥料で施用する区を対照区として設定した。1試験区の規模は8m²とし、調査用の作物採取は10株を3反復、土壌採取は1区5か所から採取しまとめたものを2反復行った。

(5) ホウレンソウの栽培および試験区の概要

品種「クロノス」を用いて、2012年10月15日に播種した。試験区は、前作コマツナ栽培試験の跡地において、前作コマツナで設定した試験区と同一の施肥方法の試験区を設け、有機質資材の化学肥料代替方法の2作連用の影響について調査した。調査用の作物採取は9株を3反復、土壌採取は1区5か所から採取しまとめたものを2反復行った。

分析は、土壌の有効態リン酸はトルオーグ法で抽出し、分光光度計で測定、土壌の交換性カリは酢酸アンモニウム抽出、土壌の亜鉛は過塩素酸、硝酸、硫酸で分解しそれぞれ原子吸光光度計で測定した (土壌環境分析法, 1997)。

結果

1 埼玉県で生産されるたい肥, 有機質肥料中のリン酸, カリの形態別実態

調査したたい肥, 有機質肥料中のリン酸のク溶率 (全リン酸に対するク溶性リン酸の割合) は、畜ふんではおおむね80%を越え、食品残さも90%程度の高い値を示した。一方で、せん定枝たい肥や米ぬか等のク溶率が低いものも散見された (表3)。

カリは調査した有機質資材のほとんどが高いク溶率を示した (表4)。この結果から、有機質資材中のカリはほぼ肥料として有効な成分 (水溶性または水不溶ク溶性成分) であると考えられた。したがって、たい肥による化学肥料代替を検討する場合、たい肥のカリ成分はほぼ有効化すると考え、化学肥料によるカリ慣行施用量に相当する量をたい肥の代替上限とすることで、カリの過剰施用を抑える施肥設計が作成できると考えられた。

表3 有機質資材のリン酸成分とク溶率

種類	原料	標本数	全リン酸	ク溶性リン酸	ク溶率
			%	%	%
たい肥	牛ふん	13	2.41	2.03	81.8
	鶏ふん	8	6.05	5.35	86.8
	豚ふん	3	6.48	5.56	83.0
	馬ふん	1	1.98	2.34	118.2
	食品残渣	6	1.81	1.64	92.5
	食品残さ+牛ふん	1	1.64	1.61	98.5
	鶏豚骨+茶殻	3	17.77	11.40	65.3
	落ち葉	1	0.42	0.14	33.7
	せん定枝	4	1.76	1.13	38.0
	有機質肥料	米ぬか	1	7.68	0.59
乾燥菌体		2	10.19	1.68	20.6
魚節煮かす		1	3.35	3.89	116.2
合計		44			

※ク溶率は標本ごとの値の平均値 (表4も同様)

表4 有機質資材のカリ成分とク溶率

種類	原料	標本数	全カリ	ク溶性カリ	ク溶率
			%	%	%
たい肥	牛ふん	13	3.16	2.96	94.9
	鶏ふん	8	3.64	3.18	88.8
	豚ふん	3	3.08	2.91	94.1
	馬ふん	1	0.70	0.86	122.3
	食品残渣	6	1.48	1.54	102.7
	食品残さ+牛ふん	1	1.27	1.16	91.8
	鶏豚骨+茶殻	3	0.48	0.41	85.7
	落ち葉	1	0.18	0.15	82.0
	せん定枝	4	0.32	0.45	-
	有機質肥料	米ぬか	1	2.99	2.80
乾燥菌体		2	0.15	0.26	-
魚節煮かす		1	-	0.98	-
合計		44			

2 カリ上限を設定した有機質資材施用栽培による作物, 土壌への影響

表4の結果を踏まえ、化学肥料によるカリ成分慣行施用量を有機質資材に含まれるカリ成分で代替

して施用することで、養分の過剰施用を防ぐ作物栽培法の実用性について検討した。具体的には、牛ふんたい肥、鶏ふんたい肥、豚ふんたい肥を使用して、窒素全量区及びカリ上限区を設け、各資材の窒素肥効率を3段階に想定した上で、作物の収量性および跡地土壌への養分蓄積について検討した。その結果、1作目のコマツナにおける収量性について、牛ふんたい肥では、いずれの窒素肥効想定でもカリ上限区が窒素全量区の収量を上回った(図1)。カリ上限区では、窒素肥効を30%と想定した際にはほぼ化学肥料区並の収量となった。鶏ふんたい肥では、牛ふんたい肥同様カリ上限区が窒素全量区の収量を上回った。カリ上限区は、すべての区で化学肥料区と同等の収量が得られた。豚ふんたい肥でも、カリ上限区が窒素全量区の収量を上回った。カリ上限区内では、窒素肥効を70%と想定した区では若干低収であったが、窒素肥効を30%、50%と想定した区では化学肥料区と同程度の収量であった。いずれの資材も窒素肥効が適正な区では、カリ上限によるたい肥施用で良好な収量性が得られた。

コマツナ跡地土壌中の交換性カリ含量は化学肥料区と大きな差はなかったが、カリ上限区に比べ窒素全量区ではやや多く、特に窒素肥効想定30%で窒素全量代替した豚ふんたい肥、牛ふんたい肥区が多かった(図2)。

コマツナ跡地土壌中の有効態リン酸含量は、対照区に比べたい肥区で多い傾向で、特に窒素肥効を低く想定した(資材の投入量が多い)窒素全量区でカリ上限区より多い傾向を示した。また、リン酸成分の多い豚ふん区で顕著であった(図3)。

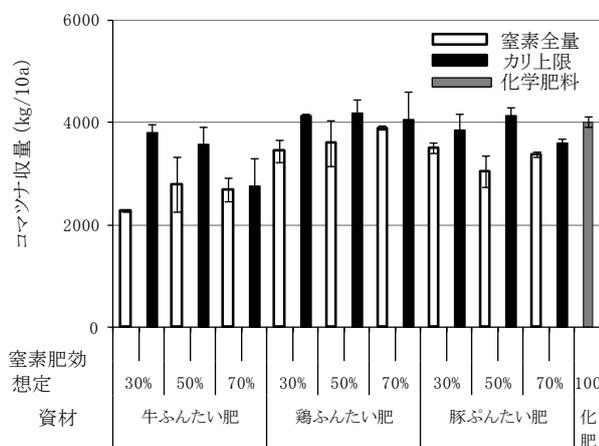


図1 たい肥の化学肥料代替方法とコマツナ収量

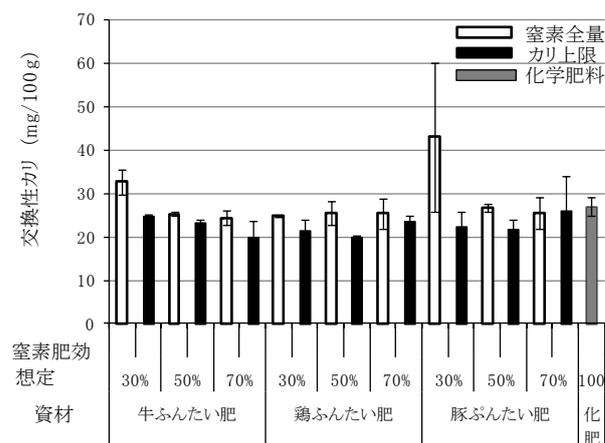


図2 たい肥の化学肥料代替方法と跡地土壌の交換性カリ含量

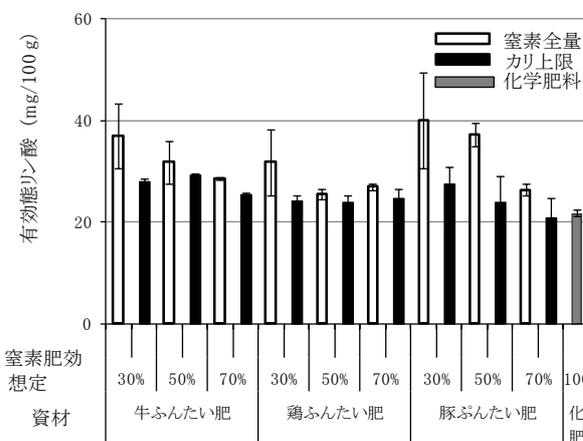


図3 たい肥の化学肥料代替方法と跡地土壌の有効態リン酸含量

2作目のハウレンソウでは、1作目のコマツナにおける各資材の窒素肥効想定と収量性の結果を踏まえ、牛ふんたい肥では、10%、20%、30%、鶏ふんたい肥では50%、60%、70%、豚ふんたい肥では30%、40%、50%と資材ごとに異なる窒素肥効を想定してカリ上限によるたい肥施用を実施した。その結果、窒素肥効を牛ふんたい肥10%、鶏ふんたい肥60~70%、豚ふんたい肥30~40%と想定した区で収量が多かった(図4)。なお、化学肥料区では、アブラムシ由来のウイルスに罹病し正常な生育ではなかったため低収となった。

ハウレンソウ跡地土壌の交換性カリ含量は、前作コマツナ栽培において窒素成分全量をたい肥で代替した区(窒素全量区)が、コマツナーハウレンソウの2作連続でカリ上限設定をした区(カリ上限区)よりも多かった。特に窒素肥効を小さく見積もりたい肥の投入量が多かった区ほど顕著であった。連作

でカリ上限設定した区では畜種によらず対照区並のカリ含量であった (図 5)。

ハウレンソウ跡地土壌の有効態リン酸含量もカリと同様な傾向を示し、前作コマツナで窒素全量代替をした区では、連作でカリ上限設定した区よりも多かった (図 6)。

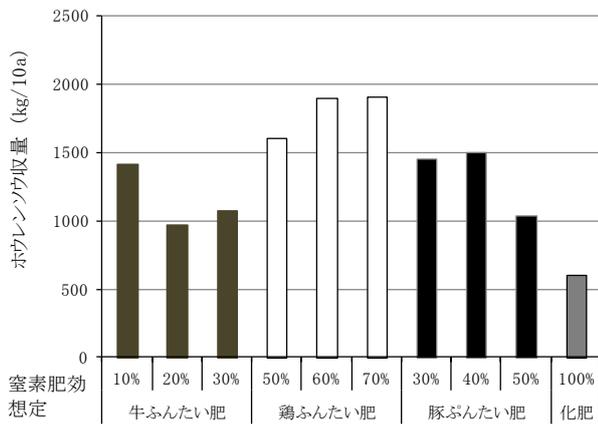


図 4 カリ上限設定で栽培したハウレンソウの収量

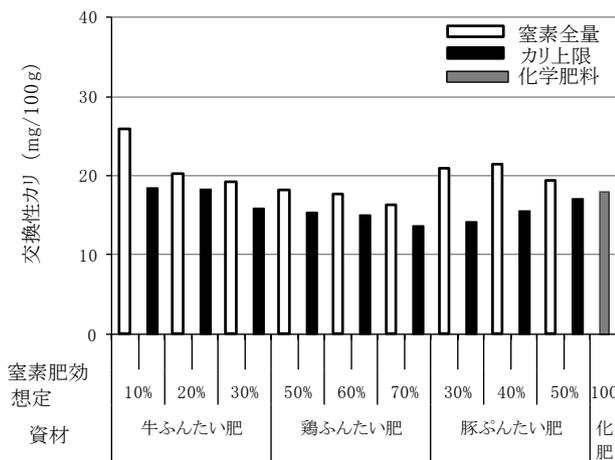


図 5 たい肥の前作代替法とハウレンソウ跡地土壌の交換性カリ含量

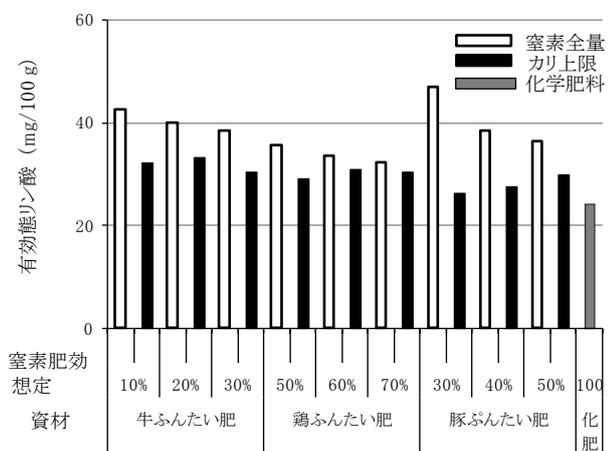


図 6 たい肥の前作代替法とハウレンソウ跡地土壌の有効態リン酸含量

3 リン酸上限を設定した有機質資材施用栽培による作物、土壌への影響

肥料成分のうち、カリ成分のみが少ないような資材では、カリ上限設定の施用を行うことにより、窒素成分やリン酸成分が過剰施用となってしまうことが考えられる。このため、カリ成分が特に少ない汚泥発酵肥料を使用して、リン酸上限設定の施用による作物や土壌への影響について、コマツナ、ハウレンソウの 2 作で同一施肥設計の連用で検討した。

その結果、収量性については、1 作目のコマツナでは、窒素全量区に比べ、リン酸上限区で収量が多く、窒素肥効 50%と想定した区で最も収量が多かった (図 7)。2 作目のハウレンソウでは、代替方法や窒素肥効想定と収量についての関係は判然としなかったが、いずれの区も化学肥料並の収量は得られた (図 8)。

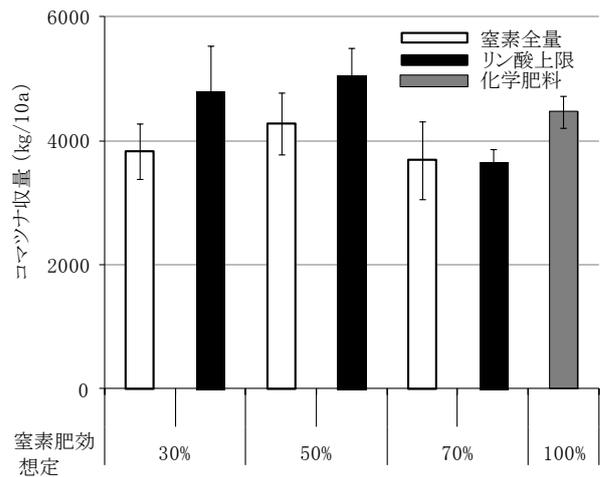


図 7 汚泥発酵肥料の代替方法とコマツナ収量

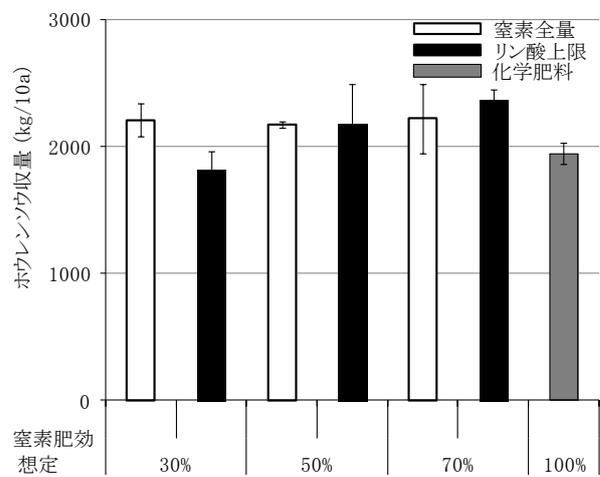


図 8 汚泥発酵肥料の代替方法とハウレンソウ収量

栽培跡地土壤の有効態リン酸含量については，1作目のコマツナ跡地土壤では，窒素全量区で多く（図9），2作目のハウレンソウ跡地土壤では窒素全量区でさらに多くなり，窒素肥効を低く想定した窒素全量区で特に多かった（図10）．リン酸上限区では，コマツナ跡，ハウレンソウ跡地土壤のいずれにおいても対照区より多くなく，リン酸上限設定による連用で過剰なリン酸蓄積はみられなかった．

栽培跡地土壤の交換性カリ含量については，今回使用した資材はカリ成分が0.8%と低く，窒素全量区でも資材からのカリ成分ではカリの標準施肥量に達しないため，2作目のハウレンソウ跡地土壤でも過剰な蓄積はみられなかった（図11）．

今回使用した資材は資材中に含まれる亜鉛含量が940mg/kgと比較的多いため，施用による跡地土壤の亜鉛含量について調査した．その結果，2作目のハウレンソウ跡地土壤の亜鉛含量は，すべての区

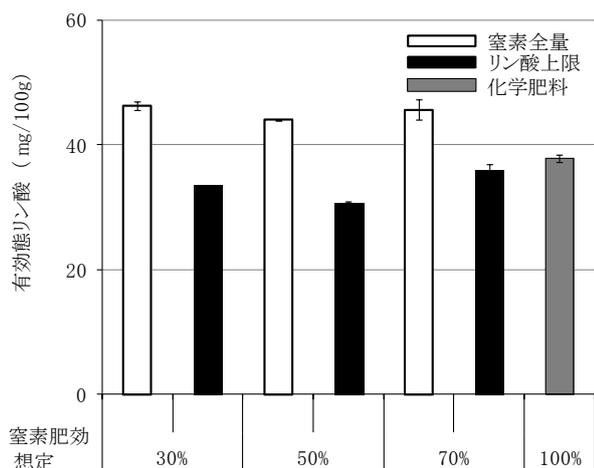


図9 汚泥発酵肥料の代替方法とコマツナ跡地土壤の有効態リン酸含量

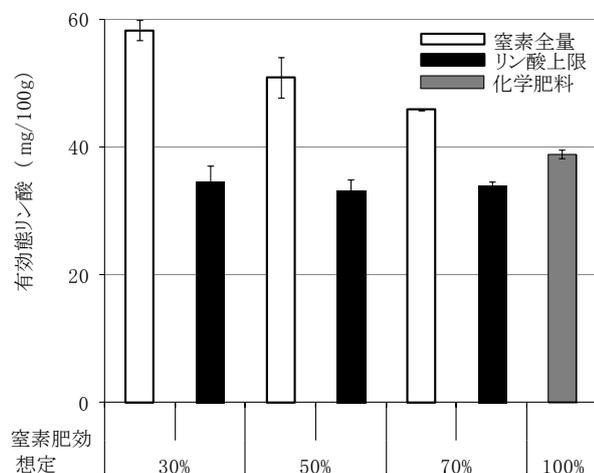


図10 汚泥発酵肥料の代替方法とハウレンソウ跡地土壤の有効態リン酸含量

で環境省の管理基準である120mg/kg（環境庁，1984）よりかなり少なかった．また，リン酸上限設定を行うことにより窒素全量代替に比べ土壤中の亜鉛の蓄積を抑えることができた（図12）．

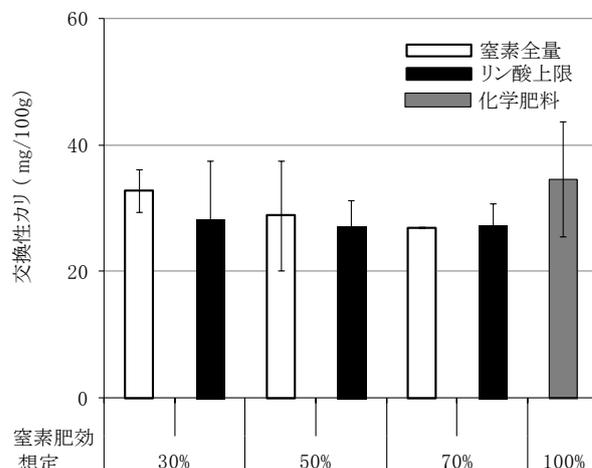


図11 汚泥発酵肥料の代替方法とハウレンソウ跡地土壤の交換性カリ含量

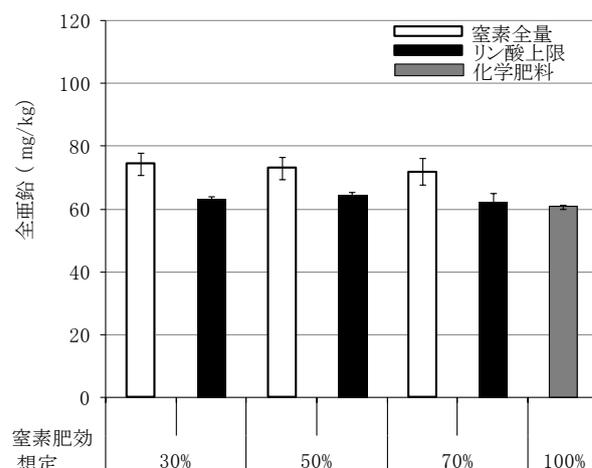


図12 汚泥発酵肥料の代替方法とハウレンソウ跡地土壤の亜鉛含量

考察

本試験から，調査したたい肥，有機質肥料に含まれるカリ成分のほとんどが2%クエン酸溶液に可溶なもので，ク溶性及び水溶性画分で存在していることがわかった．このことから，これら有機質資材に含まれるカリ成分のほとんどは肥料成分として有効なものであると考えられた．一方，リン酸のク溶率は，80%を越える資材が多いものの，落ち葉たい肥やせん定枝たい肥，米ぬか等，植物系有機質資材のク溶率はかなり低く，資材による差が大きかつ

た。このことは、畜ふんたい肥でも、植物系の副資材が多く含まれるような場合には、たい肥中のリン酸のク溶率が低くなることが考えられる。

これらのことから、たい肥による化学肥料代替施用技術として、カリ成分の標準施用量までをたい肥に含まれるカリ成分で代替する施用法（カリ上限設定）を検討した。その結果、牛ふんたい肥、鶏ふんたい肥、豚ふんたい肥において、いずれの資材も2作連用しても土壌中のカリの過剰な蓄積はみられず、窒素肥効を考慮した適正な化学肥料の加用施肥により収量性も良好であり、過剰養分を抑えるたい肥施用技術として有効であると考えられた。なお、家畜ふんたい肥の窒素肥効については、前報により、0.5M 塩酸抽出アンモニア態窒素で推定できる可能性が示唆されている。

また、2作目のハウレンソウではすべてカリ上限設定で実施したにもかかわらず、1作目跡地土壌のカリやリン酸の土壌蓄積と同様な蓄積傾向を2作目跡地土壌でも示した。このことは、土壌中に養分が多く蓄積している場合に慣行量の施肥を行うとその跡地土壌の養分蓄積は解消されないと考えられた。このため、作付前の土壌診断等により減肥の必要性等を考慮し、ほ場にあった適正な施用量の把握が重要であると考えられた。

埼玉県農林部農業支援課では、埼玉県の農耕地土壌の現状や施肥の現状を踏まえ、「主要農作物施肥基準」を改定（埼玉県，2013）するとともに、それにあわせ「施肥改善指導マニュアル」を新たに作成（埼玉県，2013）している。その中で、各作物の施肥基準や土壌診断結果を基にした適正施肥量の算出方法等が記載されており、たい肥を利用する際の施肥設計については本研究の成果が活用されている。

また、カリ成分の少ない汚泥発酵肥料を使用して、リン酸上限設定の施用による作物や土壌への影響について、コマツナ、ハウレンソウの2作で同一施肥設計の連用で検討した。その結果、リン酸上限設定の施用は、跡地土壌の過剰なリン酸蓄積を抑えるとともに収量性も良好であり、過剰養分を抑える施用技術として有効であると考えられた。ただし、汚泥発酵肥料のリン酸ク溶率は47.4%と低く、また、表3にもあるように、有機質資材によってリン酸ク溶率がかなり異なるので、このような資材をリン酸

上限設定で施用する場合には、施用する資材についてのリン酸ク溶率（肥効率）の把握が必要となる。

今回汚泥発酵肥料で実施した試験では、同一施肥設計で2作連用したが、窒素全量代替を行った試験区の跡地土壌のリン酸蓄積は、1作目跡に比べ、2作目跡でさらに多くなった。実際の生産現場では、より多くの作付けにおいて有機質資材の連用が行われていることが考えられ、その場合、これら資材の使用法を誤ると、養分蓄積がより顕著になることが想定される。養分を多く含む有機質資材の過剰施用については、1作ではその過剰の影響はみられないことが多いが、何作も連用することにより、養分の土壌への過剰な蓄積のほか、pH や養分バランス等が大きく変わることが考えられ、これらが生理障害や病害の要因となると考えられる。また、窒素やリン酸の肥効率が低い有機質資材は、その成分が年月を経るに従い長期的に分解していくことが考えられる。このため、資材の肥効率を考慮した施肥設計でも、毎作同じように施用した場合、長期的にみると徐々に分解する養分が土壌に蓄積する可能性が考えられる。このことから、施肥基準を参考にするとともに、年に1回等、定期的な土壌診断等からそのほ場の土壌状態の変化を確認し、過剰な養分施用とならないようにたい肥等有機質資材を活用していくことで、バランスのとれた土づくりによる安定した作物生産が続けられると思われる。

引用文献

- 小原洋・中井信(2004)：農耕地土壌の可給態リン酸の全国的変動 農耕地土壌の特性変動(Ⅱ)。日本土壌肥料学雑誌 75, 59-67.
- 鎌田淳(2010)：カリ過剰がブロッコリー花蕾黒変症の発現に関係。グリーンレポート 492, 12-13.
- 川合貴雄・小野芳郎・内藤恭典(1993)：リン酸過剰による高温下でのダイコン葉枯れ障害。岡山農試研報告 11, 47-56.
- 村上圭一・後藤逸男(2007)：土壌のリン酸過剰が土壌病害の発病を助長する。農業および園芸 82, 1290-1294.
- 土屋一成(1990)：農業資材多投に伴う作物栄養学的諸問題 1 野菜および畑作物の要素過剰の実態。

内藤ら：土壌への過剰養分蓄積を抑えたたい肥施用技術(2)たい肥のリン酸，カリの肥効に基づく施肥

日本土壌肥料学会誌 61, 98-103.

吉池昭夫(1983)：農耕地における施用リン酸の蓄積について．日本土壌肥料学雑誌 54, 255-261.

日本土壌肥料学会監修(1997)：土壌環境分析法．pp. 427, 博友社，東京.

環境庁水質保全局長(1984)：農用地における土壌

中の重金属等の蓄積防止に係る管理基準について．昭和 59 年 11 月 8 日環水土第 149 号.

埼玉県農林部農業支援課(2013)：主要農作物施肥基準．pp. 83, 埼玉.

埼玉県農林部農業支援課(2013)：施肥改善指導マニュアル．pp. 40, 埼玉.