

硫酸洗浄した浄水場発生土の培地におけるリン酸施与量が コマツナおよびパンジーの生育に及ぼす影響

竹中賢司・伊藤純樹

キーワード：浄水場発生土, 硫酸洗浄, リン酸, コマツナ, パンジー

水道水は、浄水場において河川等から取水した原水を、沈殿池およびそれに付帯する施設により、汚濁物質などの沈殿とろ過、消毒などの浄化処理を行い、水質が水道法基準を満たして供給されている。この浄水処理の過程で沈降させた汚泥が浄水場発生土（以下浄水土と略記する）である。広島県では平成12年度で年間14.2万tの浄水土が発生し、水需要の増大にともないその発生量も平成18年度の推計で15万tと漸増している（広島県，2006）。現在、この浄水土は産業廃棄物として指定されているため、その多くは埋め立て処分されており、一部が路盤材、セメント原料等に再利用されている。一方で、浄水土は土壌粒子や微生物由来の有機物で構成されていることから、水稻の育苗培土（麻生ら，1982）や園芸作物の培地材（鎌田ら，1982）および客土資材（鎌田ら，1982；後藤ら，1985）などとして検討され、農業利用も進んできている。

しかしながら、浄水土には凝集・沈殿処理の過程で一般的に用いられるポリ塩化アルミニウム（PAC）を始めとする凝集剤が含まれるため、PAC由来のアルミニウムが、リンと容易に反応し難溶性のリンを形成し、植物のリン吸収を妨げ施肥の効果を低下させる（増原ら，1983）。そこで、浄水土に多量に含まれるアルミニウムを除去するため、浄水土を硫酸で洗浄し、水酸化ナトリウムで中和して造粒した硫酸洗浄培土（以下洗浄培土と略記する）を作成した。この洗浄によるリン吸着の低減効果を評価するために、洗浄培土にリン酸施与量を変えてコマツナ、パンジーの生育実験を行った。また、浄水土にピートモスを容積比で30～50%混和した培地がパンジーおよびペチュニアの育苗培地として利用可能であることが報告（伊藤ら，2006）されており、洗浄培土にピートモスを混和した培地の育苗培地としての利用の可否を検討した。

材料および方法

広島県A浄水場の浄水土を天日乾燥で水分を80%にした浄水土を用いた。洗浄培土はアルミニウム除去のため表1の手順で作成した。さらに、浄水土と洗浄培土にそれぞれピートモスを容積比で50%混和した培地を作成した。それぞれ無洗浄区、洗浄区、無洗浄+ピート区および洗浄+ピート区と略記する（表2）。培地は300mlポットに充填し、ポット当たり1個体栽培し、各区3ポット供試した。無洗浄区は、培土のpH（H₂O）が6.6であったため、pHを調整せずに用いた。無洗浄+ピート区、洗浄区および洗浄+ピート区のpHは、4.6～4.2であったため、炭酸カルシウムを用いて6.2に調整した。リン酸施与は過リン酸石灰を用い、洗浄区のリン酸0mg/株を除き0、10、100mg/株施与する3水準を設けた。リン酸以外の施肥は、全区に窒素(N)をLPコート70日タイプ、加里(K₂O)をカリコート100日タイプで100mg/株施与した。リン酸100mg/株施与と比べるため、参考としてA園芸の培地を用いた（表2）。

コマツナ‘楽天’は、10月19日に200穴セルトレイに播種した。11月9日に供試培地を充填した300mlポットに定植し、12月6日に植物体と培地を採取した。一方、パンジー‘マキシムブルー&イエロー’は9月6日に288穴セルトレイに播種した。10月19日に300mlポットに定植し、12月11日に植物体と培地を採取した。植物体は、地上部の新鮮重および乾物のリン含有量を調査した。リンは硝酸、過塩素酸による湿式分解後、バナドモリブデン法で測定した。栽培後の培地は、風乾後、pHをガラス電極法、ECを1:5水浸出法、可給態リン酸をトルオーグ法、交換性塩基を1N酢酸アンモニウムで抽出後、原子吸光法で測定した。

表1 洗浄培土の作成方法

手順	処 理
1	採取した天日乾燥浄水土を完全に乾燥させ破砕
2	破砕したサンプル1kg に対して、pH1に調整した硫酸水溶液5L 加え、2時間攪拌
3	2時間攪拌後、遠心分離を行い、土壌を回収
4	回収した土壌1kg に対して水5L を加える
5	水酸化ナトリウム (7.5mol/L で750ml 程度) で pH7付近まで中和
6	土壌を沈殿させ、デカンテーションで回収
7	再び1L までメスアップし、土壌を沈殿させデカンテーションで回収 (すすぎ)
8	手順7を3回繰り返した後、試料を風乾
9	試料を細かく粉碎し、水を加えながらミキサーで粒径3~5mm に造粒
10	造粒後、試料を電気炉を用いて、100℃で焼成

表2 処理区の構成

処理区	洗浄の有無	ピートモス混和率 (%)	リン酸施与量 (mg/ 株)
無 洗 浄	無	0	0
			10
			100
洗 浄	有	0	10
			100
無洗浄+ピート	無	50	0
			10
			100
洗浄+ピート	有	50	0
			10
			100
参考 (A 園芸)		パーク堆肥 : ダム土 : ピートモス : パーミュキュライト : パーライト : 鹿沼土 : 日向土 = 32 : 18 : 10 : 10 : 10 : 10 : 10	

表3 浄水場発生土の硫酸洗浄とピートモス混和の有無およびリン酸施与量がコマツナ栽培後培地の化学性に及ぼす影響

処 理 区	リン酸施与量 (mg/ 株)	pH (H ₂ O)	EC(1:5) (mS/cm)	交換性塩基 (mg/100g)			
				CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
無 洗 浄	0	6.7	0.2	202	6.3	26.0	31.4
無洗浄+ピート		6.9	0.3	385	17.7	24.3	34.7
洗浄+ピート		6.2	1.0	449	21.3	24.3	67.4
無 洗 浄	10	6.7	0.2	239	6.5	24.4	32.3
洗 浄		6.0	1.2	251	4.8	28.7	69.9
無洗浄+ピート		6.9	0.3	348	16.9	24.9	37.1
洗浄+ピート	6.1	0.9	488	21.0	17.0	60.6	
無 洗 浄	100	6.7	0.4	241	9.4	21.3	32.7
洗 浄		6.0	1.3	246	6.3	29.9	71.0
無洗浄+ピート		6.8	0.4	426	20.0	21.3	33.6
洗浄+ピート	6.1	1.0	587	21.6	26.6	61.2	
参 考		6.3	0.5	614	154.1	269.5	58.3

注) 栽培後跡地の仮比重は、無洗浄区、洗浄区、無洗浄+ピート区および洗浄+ピート区でそれぞれ0.81, 0.86, 0.50および0.56であった

結 果

栽培後の培地の可給態リン酸含量は、コマツナではリン酸無施与の場合、無洗浄区に比べ無洗浄+ピート区で差は小さかったが、洗浄+ピート区で高い傾向にあった

(図1)。リン酸を10mg/ 株施与すると、無洗浄区に比べ無洗浄+ピート区で差は小さかったが、洗浄区および洗浄+ピート区で高い傾向にあった。100mg/ 株施与も、10mg/ 株と同様の傾向を示した。

一方、パンジーでは、リン酸無施与の場合、無洗浄区

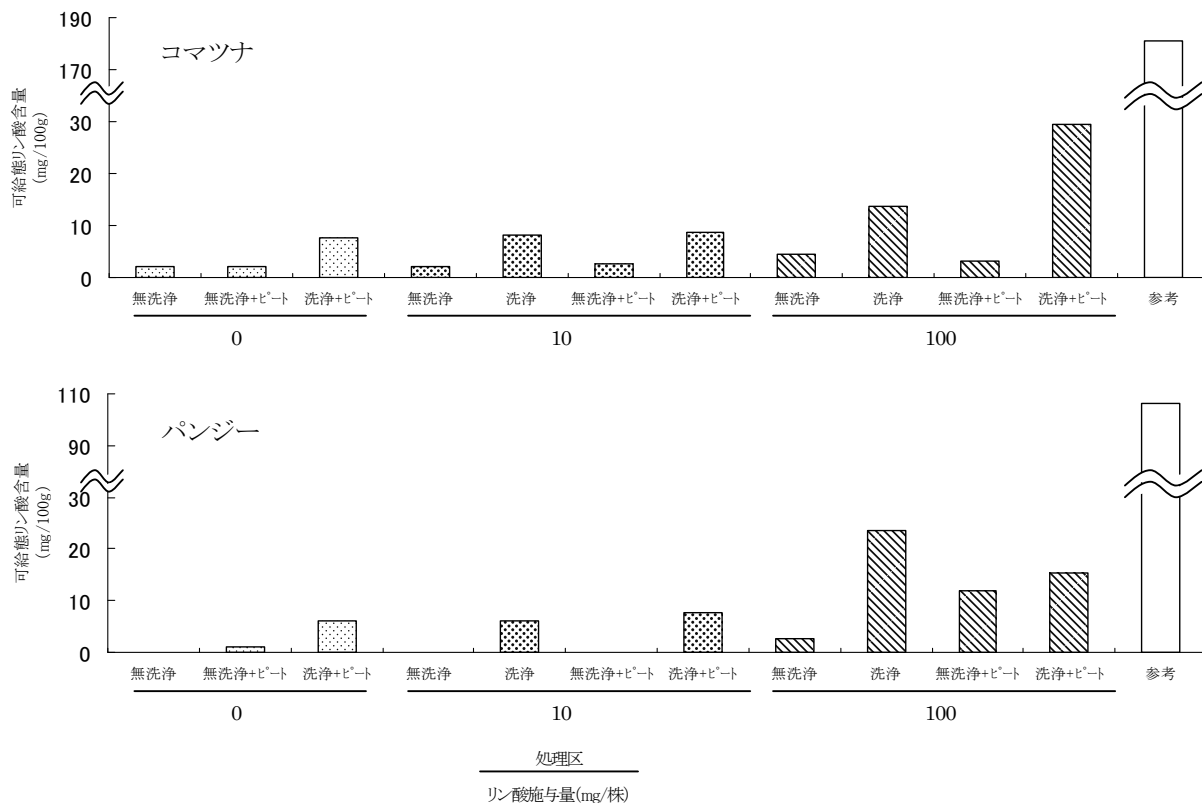


図1 浄水場発生土の硫酸洗浄とピートモス混和の有無およびリン酸施与量がコマツナおよびパンジー栽培跡地の可給態リン酸含量に及ぼす影響

では可給態リン酸が検出されなかったが、無洗浄+ピート区および洗浄+ピート区では検出された。リン酸を10mg/株施与すると、無洗浄区および無洗浄+ピート区では可給態リン酸が検出されなかったが、洗浄区および洗浄+ピート区では検出された。100mg/株施与すると、無洗浄区に比べ無洗浄+ピート区、洗浄区および洗浄+ピート区で高い傾向にあった。なお、参考区に比べリン酸100mg/株施与した場合、コマツナおよびパンジーとも全処理区で可給態リン酸含量は著しく低い傾向にあった。

コマツナ栽培後の培地の化学性についてみると、pH (H₂O) は、リン酸施与量に係わらず調整時と比べ無洗浄+ピート区で高い傾向にあった(表3)。ECは、洗浄区および洗浄+ピート区で高い傾向にあった。交換性カルシウム、交換性マグネシウムは、無洗浄、洗浄に係わらず、ピートモスの混和区で高い傾向にあった。交換性カリウムは、リン酸施与量に係わらず処理区による差は小さかった。交換性ナトリウムは、洗浄区および洗浄+ピート区で高い傾向にあった。参考区に比べリン酸100mg/株施与した場合、交換性マグネシウム、交換性カリウムが全処理区で低い傾向にあった。パンジー栽培後の培地もコマツナと同様の傾向を示した(データ省略)。

コマツナの地上部のリン含有率は、リン酸無施与の場合、無洗浄区に比べ洗浄+ピート区で差は小さく、無洗浄+ピート区で低い傾向であった(図2)。リン酸を10mg/株施与すると、無洗浄区に比べ無洗浄+ピート区で差は小さく、洗浄区および洗浄+ピート区で高い傾向にあった。100mg/株施与すると、無洗浄区に比べ無洗浄+ピート区で低く、洗浄区および洗浄+ピート区で高い傾向にあった。一方、パンジーの地上部のリン含有率は、リン酸無施与の場合、無洗浄区に比べ無洗浄+ピート区で差が小さく、洗浄+ピート区で高い傾向にあった。リン酸を10mg/株施与すると無洗浄区に比べ無洗浄+ピート区で低く、洗浄区および洗浄+ピート区で高い傾向にあった。リン酸を100mg/株施与すると、無洗浄区に比べ無洗浄+ピート区で差は小さく、洗浄区および洗浄+ピート区で高い傾向にあった。なお、地上部のリン含有率は、参考区に比べリン酸100mg/株施与した場合、コマツナでは無洗浄+ピート区で低く、パンジーでは全ての処理区で低い傾向にあった。

コマツナの地上部のリン含有量は、リン酸無施与の場合、無洗浄区に比べ無洗浄+ピート区および洗浄+ピート区で差は小さかった(図2)。リン酸を10mg/株施与すると、無洗浄区に比べ無洗浄+ピート区で差は小さかつ

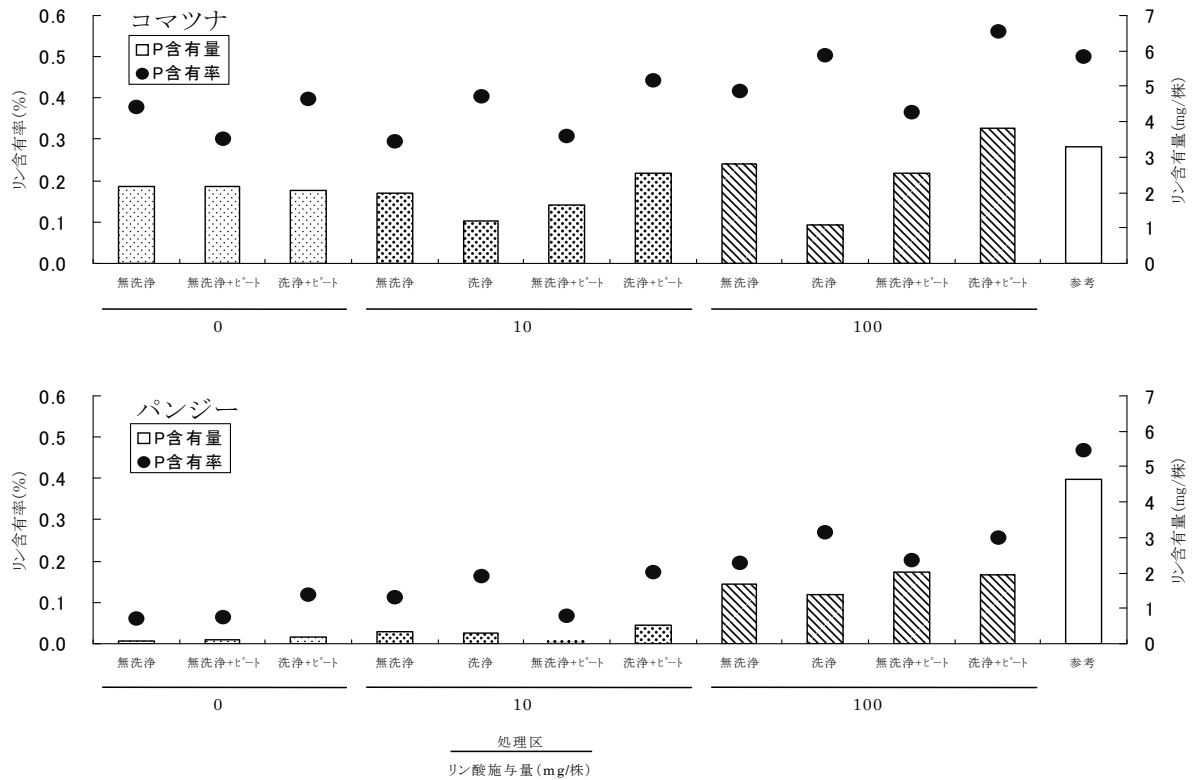


図2 浄水場発生土の硫酸洗浄とピートモス混和の有無およびリン酸施与量がコマツナおよびパンジーのリン含有率およびリン含有量に及ぼす影響

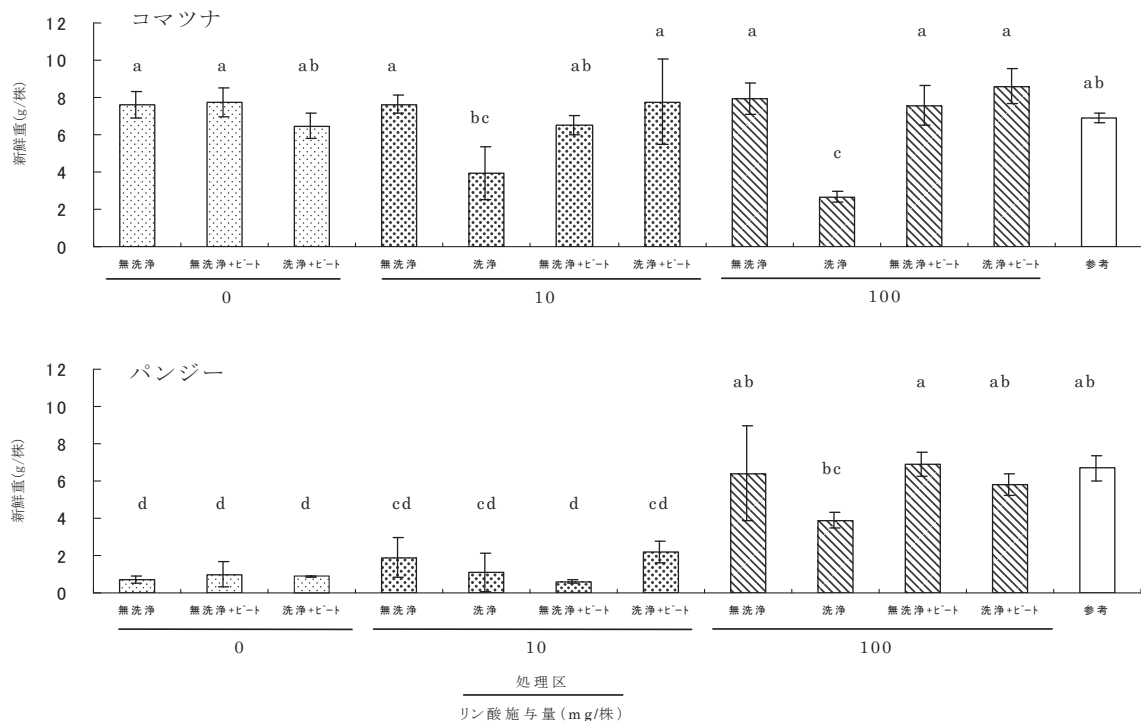


図3 浄水場発生土の硫酸洗浄とピートモス混和の有無およびリン酸施与量がコマツナおよびパンジーの地上部新鮮重に及ぼす影響

注1) 図中の縦棒は標準偏差を示す

注2) 同一英小文字間には Tukey の多重検定により5%水準で有意な差が無いことを示す

たが、洗浄区で少なく、洗浄＋ピート区で多い傾向にあった。100mg/株施与も、10mg/株施与と同様の傾向を示した。一方、パンジーの地上部のリン含有量は、リン酸無施与の場合、リン含有量は少なく、その差は明瞭でなかった。リン酸10mg/株施与では、無洗浄区に比べ無洗浄＋ピート区で少ない傾向にあった。リン酸100mg/株施与では無洗浄区に比べ洗浄区で少ない傾向にあった。なお、地上部のリン含有量は、参考区に比べリン酸100mg/株施与した場合、コマツナでは、洗浄区で少なかったが、その他の処理区で差は小さく、パンジーでは全ての処理区で著しく少ない傾向を示した。

コマツナの地上部新鮮重は、リン酸無施与の場合、無洗浄区に比べ無洗浄＋ピート区および洗浄＋ピート区で差はなかった(図3)。リン酸を10mg/株施与すると、無洗浄区に比べ無洗浄＋ピート区および洗浄＋ピート区で差は無かったが、洗浄区で小さかった。リン酸を100mg/株施与しても、10mg/株施与と同様の傾向を示した。なお、リン酸100mg/株施与の洗浄区以外の処理区は、参考区と同様の値を示した。一方、パンジーの地上部新鮮重は、リン酸無施与、リン酸10mg/株施与およびリン酸100mg/株施与いずれも処理区による差は無かった。コマツナではリン酸施与量の増加に伴い、新鮮重に差は無かったが、パンジーではリン酸の施与量が無あるいは10mg/株では、新鮮重が小さく、リン酸100mg/株では、全ての処理区で参考区と同様の値を示した。

考 察

坂ら(2008)は、浄水土をpH1の硫酸で洗浄することで80%以上のアルミニウムが抽出除去され、その結果、最大リン吸着容量が約30mg-P/gから約13mg-P/gまで低減したと報告している。栽培後の培地でも、アルミニウム除去の効果により、可給態リン酸含量が、洗浄培土および洗浄培土にピートモスを混和した培地において高い値を示したと考えられる。また、洗浄後に使用した水酸化ナトリウムの残存で交換性ナトリウムが高くなり、ECが高かったと考えられる。ピートモスを混和した培地で交換性カルシウム、交換性マグネシウム含量が高かったが、ピートモスがこれらの塩基を多く含むためと考えられた。しかし、両塩基の含量は植物の生育に多くの影響を与えなかったと思われる。

コマツナの地上部新鮮重は、リン酸10mg/株および100mg/株施与とも、無洗浄区に比べ無洗浄＋ピート区で差は無かったが、洗浄＋ピート区に比べ洗浄区で小さかった(図3)。洗浄培土を観察すると、造粒後100℃の

焼成では造粒が不十分で、微粒な資材が残り、粒も崩壊していた。これにより洗浄培土の透水性が低下し、洗浄培土だけの洗浄区はその要因で生育が悪化したものと考えられた。中野ら(1988)は、浄水土をシクラメンの鉢物培土の基土として利用する場合、浄水土の保水性が劣る欠点を補うため、有機資材の配合による保水性の改善効果を検討している。その結果、腐葉やピートモスの配合により液相率が高まり、ピートモスの割合が高まるほどその傾向は強く、保水性の改善効果が確認できたと報告している。本実験でも、ピートモスの混和により、透水性などの物理性が改善され、生育を維持できたと考えられる。

次に、リン酸施与が生育に及ぼす影響が、パンジーとコマツナでは著しく異なった。つまり、パンジーではリン酸無施与あるいは10mg/株施与では生育が著しく劣り、100mg/株施与しなければ参考区と同様の正常な生育を示さなかった。一方、コマツナでは、洗浄土のみの処理区を除けば、リン酸無施与や10mg/株施与でも正常に生育した。このことについて考察する。

コムギ幼植物の根圏土壌抽出液中にシュウ酸、クエン酸、リンゴ酸およびフマル酸が検出され、リンゴ酸による土壌中の難溶性リン酸塩からのリン酸、アルミニウムおよび鉄の溶出を調べた結果、最初にアルミニウム、鉄が溶出し、次にリン酸が溶出することが報告されている(田中ら, 2001)。また、コマツナやチンゲンサイなどのアブラナ科作物は根からクエン酸、リンゴ酸を多量に分泌されることが報告されている(Matsumotoら, 2000)。このことから、リン酸の施与量が少なくても、植物体のリン含有量の減少程度が小さく、コマツナの生育が良好であったものと考えられる。

また、コマツナの参考区では可給態リン酸含量が、100mg/100g以上残存し、本実験で最高値を示したリン酸100mg/株施与した洗浄＋ピート区で約30mg/100gであったが、地上部のリン含有率、リン含有量とも洗浄＋ピート区で大きかったことから、培地の可給態リン酸含量100mg/100gは、コマツナの生育には過剰であったと考えられる。一方、パンジーの参考区では、リン含有率、リン含有量とも洗浄＋ピート区よりも大きく、土壌の可給態リン酸含量が多いほど、リンを吸収すると考えられる。ただし、可給態リン酸含量が100mg/100g以上ある参考培地と新鮮重に差がないことから、生育には培地の可給態リン酸含量が15mg/100gあれば十分と考えられた。すなわち、パンジーのリン酸吸収は土壌の可給態リン酸含量と密接に関連し、生育に影響を与えるが、コマツナは、積極的にリン酸を可溶化し吸収するためこの影

響が小さかったと結論できる。ただし、実用的にはリン酸を100mg/株施与すれば、両植物の生育には十分と考えられる。

以上の結果から、浄水を水分80%程度まで乾燥させ、pH1の硫酸で洗浄後、水酸化ナトリウムで中和した培土は、PACのアルミニウムが除去され、アルミニウムによるリンの吸着が低減し、可給態リン酸含量が増加することが明らかとなったが、リン酸施与を減らす効果は、明瞭ではなかった。また、造粒が不十分な洗浄培土であっても、ピートモスを容積比で50%混和することで、コマツナの育苗培地として用いることができ、パンジーについても、生育がやや劣るものの、リン酸を100mg/株施与することで育苗培地として用いることは可能である。しかし、製造に余分な工程が加わるため、実用上のメリットは小さいと考えられる。

摘 要

浄水に多量に含まれるアルミニウムを除去するため、浄水を硫酸で洗浄し、水酸化ナトリウムで中和して造粒した硫酸洗浄培土（以下洗浄培土）を作成した。この洗浄培土のリン吸着の低減効果を評価するために、リン酸施与量を変えてコマツナ、パンジーの生育実験を行った。また、洗浄培土にピートモスを混和した培地の育苗培地としての利用の可否を検討した。その結果、洗浄培土は、PACのアルミニウムが除去され、アルミニウムによるリンの吸着が低減し、可給態リン酸含量が増加することが明らかとなったが、リン酸施与量を減らす効果は、明瞭ではなかった。また、造粒が不十分な洗浄培土であっても、ピートモスを容積比で50%混和することで、コマツナの育苗培地として用いることができ、パンジーについても、生育がやや劣るものの、リン酸を100mg/株施与することで育苗培地として用いることは可能と考えられた。しかし、製造に余分な工程が加わるため、実用上のメリットは小さいと考えられる。

謝 辞

本実験は、広島循環型社会推進機構からの受託研究として実施した。広島大学環境安全センター西嶋渉博士、奥田哲士博士および大学院生の坂公通氏には、供試培土の作成などに多大なる協力を賜った。記して謝意を表す。また、岡山県農業総合センター農業試験場化学研究室赤井直彦専門研究員および当センター谷本俊明総括研究員には、貴重な御助言を頂いた。記して感謝の意を表す。

引用文献

- 広島県資源循環広域システム構築事業報告書. 2006.
- 伊藤純樹・蔵尾公紀・延安弘行・竹中賢司・田部 大・原田秀人. 2007. 浄水場（広島県太田川水系）発生土の花壇苗生産への利用. 平成19年度近畿中国四国農業研究成果情報：91-92.
- 麻生末雄・麻生昇平・武長 宏・吉羽雅昭・米安 晟・狩俣貴清. 1982. 浄水場発生ケーキの農業利用. 農業および園芸57：221-225.
- 鎌田春海ら. 1982. 浄水汚泥の農業利用に関する開発研究. 神奈川農総研研報123：1-80.
- 後藤逸男・清水慶一・蛭本 翠. 1985. 浄水場発生土の農業利用に関する研究（第4報）. 畑地に対する客土材としての利用. 東京農大集報29：209-223.
- 増原 博ら. 1983. 浄水処理ケーキ（特性と農業利用上の問題点）浄水ケーキの培土としての利用. 博友社. pp.81-118.
- 坂 公通ら. 2008. 園芸土壌利用を目的とした浄水汚泥からのアルミニウム除去. 広島大学大学院2008年度修士学位論文：1-30.
- 中野 直・西田悦造・山部十三生・児玉幸弘. 1988. 浄水ケーキの農業利用に関する研究（第1報）. 花き鉢物培土への利用. 三重農技セ研報16：11-20.
- Matsumoto S., Ae N., Yamagata M. 2000. Possible direct uptake of organic nitrogen from soil by Chingensai (*Brassica campestris* L) and Carrot (*Daucus carota* L). *Soil Biol Biochem* 32：1301-1310.
- 田中啓文・磯井俊行・幡井健太郎. 2001. コムギ幼植物の分泌物による難溶性リン酸塩の溶解. 土肥誌72：63-68.

Effects of Phosphoric Acid Application Amounts on Growth in Komatsuna and Pansy in Culture Medium Using Sludge Washed in Sulfuric Acid in a Water Purification Plant

Kenji TAKENAKA and Junki ITO

Summary

A sludge in a water purification plant includes plenty of aluminum. We washed in sulfuric acid to remove aluminum from the sludge and then neutralized in sodium hydroxide. This washed sludge named a tested sludge. In order to estimate reducing effects of absorption in phosphoric acid, influence of phosphoric acid application amounts on komatsuna and pansy was investigated. And the tested sludge with peat moss was estimated to use for culture medium in komatsuna and pansy.

It was clearly demonstrated that using of the tested sludge increased available phosphoric acid in culture medium after harvesting. The decreasing effect for Phosphoric Acid Application Amounts is not clear.

It is clarified that tested sludge with 50% volume peat moss was available in culture medium for komatsuna. In pansy we obtained same result but it was necessary to apply 100mg phosphoric acid per plant. It is not practical to wash the sludge owing to adding extra process.

Key words : a sludge in a water purification plant, komatsuna, pansy, phosphoric acid, washing of sulfuric acid