

## 〈特集〉

## 熔成汚泥灰複合肥料の肥料効果

後藤 逸 男

東京農業大学 生物応用化学科 (〒156-8502 東京都世田谷区桜丘1-1-1 E-mail: igoto@nodai.ac.jp)

## 概 要

下水汚泥焼却灰には、リン鉱石に匹敵する20~30%のリン酸が含有している。この下水汚泥焼却灰を還元溶融した溶融スラグを水砕処理することにより、リン鉱石から製造される従来のリン酸肥料である「熔リン」に類似した「熔成汚泥灰複合肥料」が開発された。この「熔成汚泥灰複合肥料」は、製造方法も熔リンに類似しており、下水汚泥の肥料化で懸念される有害元素の含有率が低い。しかし、コマツナの幼植物栽培を行った結果、原料となる焼却灰の種類により、リン酸肥料の肥効の指標とされるク溶性リン酸含有量が同一であっても肥料効果に違いがみられた。従来、リン酸の肥効評価には、ク溶性リン酸の含有量が用いられてきたが、熔成汚泥灰複合肥料にはク溶性より可溶性リン酸含有量の適用が望ましいことが明らかになった。

キーワード：下水汚泥、焼却灰、熔成汚泥灰複合肥料、リン酸肥料、リン酸の肥効

原稿受付 2009.5.1

EICA: 14(1) 23-26

## 1. はじめに

リンは植物生育に不可欠な養分の一つある。また、わが国の土壌、特に黒ボク土はアルミニウム性が強くリン酸肥沃度の低い土壌であることから、リン酸は農業生産に不可欠かつ重要な資材である。かつての開拓地開発事業などでは、新規に開発した農地にリン酸吸収係数の5~10%に相当する多量の熔成リン肥が土壌改良資材的な感覚で多量施用されてきた。

わが国には工業的に利用可能なリン鉱石が全く存在しないため、全てを海外からの輸入に頼っている。国内におけるリン酸肥料の需要量は平成14年度には48万トン( $P_2O_5$ )であった。一方、わが国で排出される家畜糞尿、汚泥類、食品廃棄物など有機性廃棄物中のリン酸量は年間62万トンにおよび<sup>1)</sup>リン酸肥料の需要量をはるかに上回っている。とくに、下水汚泥中のリン酸は有機性廃棄物全体の約15%に及ぶ有望なリサイクルリン酸資源である。

しかし、下水汚泥中のリン酸の多くが有機態リン酸やアルミニウム・鉄型リン酸として存在するため、植物には利用されにくい。また、下水汚泥中に含有される亜鉛、銅、カドミウムなどの有害元素が農業利用上の制約になることがある。そこで、下水汚泥からリン酸を分離する手段として、下水処理場における脱水分離液にマグネシウムイオンを添加してリン酸イオンをリン酸マグネシウムアンモニウム(MAP)として沈殿分離する技術<sup>2)</sup>がすでに開発されている。また、小松ら<sup>3)</sup>は下水汚泥焼却灰に酸化カルシウムと酸化マグネ

シウムを添加混合し、約1400℃の電気抵抗炉中で還元溶融した溶融スラグを水砕処理することにより、従来の熔リンに類似の肥料を製造するシステムを開発した。リン酸の肥効が確認されたが、原料が熔リンとは異なり、かつリン酸の肥効が熔リンにはわずかに及ばなかったこと、カリを1%以上含有することから、平成16年4月肥料取締法に新しい公定規格が設けられ、同年5月に「熔成汚泥灰複合肥料」として新規格が施行された。

## 2. 「熔成汚泥灰複合肥料」の特性

## 2.1 製造方法も熔リンに類似

リン酸肥料である「熔リン」は酸化カルシウムとリン酸を主成分としたリン鉱石に、ケイ酸と酸化マグネシウムを主成分とするカンラン石を混合し溶融・水砕処理することで製造される。これに対して、下水汚泥焼却灰にはリン鉱石に匹敵する20~30%のリン酸とそれと同程度のケイ酸が含まれる。その他に凝集剤由来のアルミナと酸化鉄が含まれているため、全リン酸に占めるク溶性リン酸の割合はおよそ60%である。そこで、下水汚泥焼却灰に $MgO/P_2O_5$ と $CaO/P_2O_5$ のモル比が3.5程度以上となるように酸化マグネシウムと酸化カルシウムを添加して、熔リン製造と同様に溶融・水砕することで熔成汚泥灰複合肥料を製造する。本技術では、水砕スラグをリン酸肥料として回収するばかりではなく、鉄をリン鉄として回収することができる。

表1 下水汚泥焼却灰とそれを原料とする熔成汚泥灰複合肥料（試作肥料）の成分組成

試料	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)		MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
	全	ク溶性							可溶性
焼却灰 A	28.2	17.7	11.1	3.4	18.5	31.3	3.0	11.7	2.9
焼却灰 B	23.0	14.8	9.2	3.1	22.0	27.7	2.6	9.7	15.5
試作肥料 A	18.9	18.6	14.0	16.0	10.0	23.0	1.8	28.5	0.4
試作肥料 B	16.6	16.6	8.1	16.2	15.0	25.4	1.8	20.9	0.9
市販熔リン	20.8	20.6	15.3	17.7	1.0	26.1	0.1	30.7	4.2

試料	Zn	Cu	Cr	Ni	Cd	As	Hg
	mg/kg						
焼却灰 A	1,570	2,179	97	84	5	17	0.05>
焼却灰 B	4,800	1,530	360	240	8	12	0.05>
試作肥料 A	180	110	20	2.5	0.3	0.4	0.05>
試作肥料 B	530	81	160	3	0.1>	0.1>	0.05>
市販熔リン	70	7	1,250	1,180	0.3	4.9	0.05>

2種類の下水汚泥焼却灰とそれらから試作した熔成汚泥灰複合肥料、対照として市販熔リンの成分組成を表1に示す。全リン酸含有量は熔リンの20.8%に対して、熔成汚泥灰複合肥料では17~19%で熔リンにはわずかに及ばなかった。しかし、リン酸のク溶率はいずれも99%以上と熔リンと同等で、試作肥料Aのリン酸可溶率はク溶率とほぼ等しく、市販熔リンより高かった。ただし、試作肥料Bの可溶率は約50%に過ぎなかった。

試作肥料のケイ酸・酸化マグネシウム含有量は市販熔リンとほぼ同等であった。酸化カルシウム含有量については、試作肥料Aではほぼ同等であったが、試作肥料Bでは市販熔リンの67%であった。アルミナ含有量は市販熔リンより著しく高く、下水処理過程で添加された凝集剤に由来している。焼却灰Bには凝集剤として鉄化合物が添加されていたが、溶融により鉄がリン鉄として分離されるため、試作肥料中の酸化鉄含有量は市販熔リンよりはるかに低かった。

## 2.2 有害元素含有量が少ない「熔成汚泥灰複合肥料」

下水汚泥を農業利用する際には、亜鉛・カドミウム・ヒ素・水銀など有害元素の存在が課題の一つである。特に下水汚泥焼却灰中にはそれらの元素が濃縮されるが、約1400℃の電気抵抗炉中で還元熔融することにより、銅やニッケルなど沸点の高い重金属は溶融メタル中に、低沸点の亜鉛やカドミウム、鉛は飛灰として分離される。そのため、試作肥料中の有害元素含有量は表1のように著しく低下する。

## 3. 「熔成汚泥灰複合肥料」の肥効

### 3.1 「熔成汚泥灰複合肥料」の肥効

表1の試作肥料A、Bおよび市販熔リンをク溶性

リン酸として100, 200, 300, 400 mg/pot 相当量を黒ボク土に施用し、1/10000a ノイバウエルポットでコマツナの幼植物栽培を行った。その結果、写真1、図1のように試作肥料A区の生育量は熔リン区の81~92%に達したが、試作肥料B区では41~54%に過ぎなかった。また、リン酸吸収量は熔リン区に対して、試作肥料A区では66~100%、試作肥料B区では25~36%と、ク溶性リン酸量を合わせたにもかかわらず2種類の試作肥料間でリン酸の肥効が著しく相違した。この原因を追究した結果、製造時に添加するアルカリ資材の量を増やしてリン酸とのモル比を高めることにより、試作肥料Aと同等の資材となることが確認された<sup>4)</sup>。さらに、従来からク溶性リン酸肥料の肥効評価にはク溶性リン酸含有量が用いられてきたが、熔成汚泥灰複合肥料にはク溶性より可溶性リン酸含有量の適用が望ましいことが明らかになり、今後熔成汚泥灰複合肥料が実用化される際には肥料取締法公定規格の見直しが必要になるとと思われる。

### 3.2 有害元素の植物への移行

熔リンに近い肥効が確認された試作肥料Aを供試



写真1 熔成汚泥灰複合肥料試作品中のリン酸の肥効

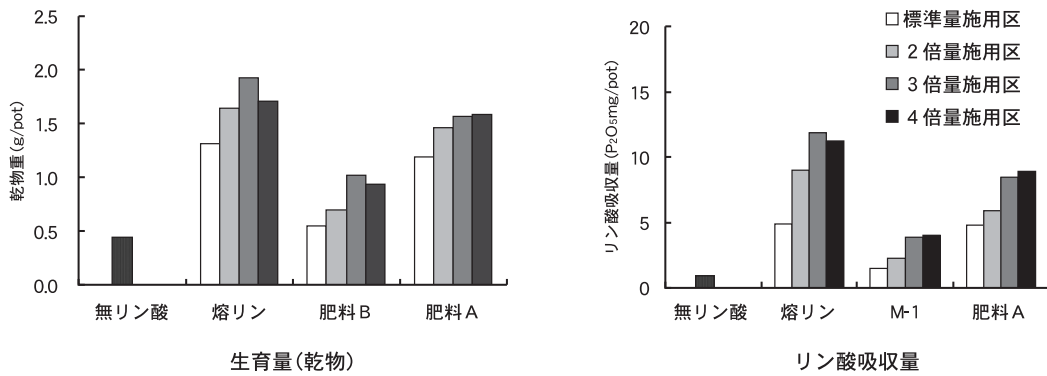


図1 熔成汚泥灰複合肥料試作品中のリン酸の肥効 (生育量とリン酸吸収量)

表2 熔成汚泥灰複合肥料試作品を施用して栽培したコマツナ中の有害元素含有量

試験区	As	Cd	Ni	Cr	Hg	Pb	Zn	Cu
焼却灰 A	0.64	0.39	1.02	1.69	0.20	0.47	107	11.7
試作肥料 A	0.84	0.37	0.96	1.76	0.19	0.52	59.3	9.92
市販熔リン	1.40	0.35	2.31	2.40	0.18	0.46	57.7	9.22
無リン酸	0.69	0.44	0.098	1.54	0.28	1.05	64.9	8.61

乾物当たり mg/kg

して、有害元素の植物への移行について検討した。試作肥料 A とその原料とした下水汚泥焼却灰 (表 1)、市販熔リンを可溶性リン酸として 2 g 相当量を黒ボク土 2 kg (乾土) に施用して、1/5000a ワグネルポットでコマツナを 29 日間栽培した。コマツナ中の有害元素含有量を測定した結果、表 2 のように焼却灰区における重鉛は 107 mg/kg であったが、試作肥料 A 区ではほぼ半減して、熔リン区と同等となった。その他の有害元素については各区ともほぼ同等であり、本肥料を熔リンの代替資源として活用すれば、これまで下水汚泥が抱えていた農業利用上の課題の一つを解消することができる。

#### 4. 熔成汚泥灰複合肥料の特性を生かした利用への期待

著者は、これまで約 20 年間にわたって全国各地の野菜産地で土壌診断調査を行ってきたが、可給態リン酸が明らかに過剰な畑やハウスにおいてもいまだにリン酸肥料が施用されていることが多い。このような現状では、リン酸資源と生産経費の浪費、土壌病害に対する抑止力の低下、環境負荷などが懸念される。その一方、わが国の耕地面積の大半を占める水田では可給態リン酸や腐植の欠乏が目立ち、いわゆる地力の低下が確実に進行している。20% 程度のケイ酸を含む熔成汚泥灰複合肥料はこのような水田にこそ施用すべき資材である。

土壌中のリン酸過剰が明らかな野菜産地では、熔成汚泥灰複合肥料を育苗培土中に混和し、本圃やハウスには無リン酸とすることが合理的である。筆者らの試験では育苗培土 1 L 中にリン酸として 5 g (現物とし

て約 25 g) の熔成汚泥灰複合肥料を添加しても、育苗に支障はなく、無リン酸区の収量は慣行区と変わらなかった。

千葉県や茨城県のような黒ボク土の畑作地帯では、可給態リン酸や重鉛・銅など微量要素欠乏畑も少なくない。そのような地域では基肥として熔成汚泥灰複合肥料を利用すれば、土壌病害抑止力を低下させることなく作物にリン酸を供給できる。また、熔リンに比べて多量に含まれる銅や重鉛を有害元素としてではなく、微量要素として活用すればよい。

ただし、「熔成汚泥灰複合肥料」中の「汚泥」が今後利用上の足かせになるかもしれない。今日では下水汚泥を原料とする普通肥料が広く使われ、わが国の農業生産に大きく貢献してはいるが、「汚泥」の二文字に大きな抵抗感を示す生産者や消費者が少なくない。今後は、「汚泥」の持つマイナスイメージを払拭することが下水汚泥の農用地活用を促進する上での課題の一つといえる。

2008 年 12 月現在では、熔成汚泥灰複合肥料は実用化されていない。その主な理由はいくつ最近まで中国から安い熔リンが多量に輸入できていたために採算性が合わないことであった。しかし、その後肥料価高騰に伴い熔成汚泥灰複合肥料が注目されるに至った。既存の熔リンプラントの利用も可能な熔成汚泥灰複合肥料の早期実用化を期待したい。

#### 参考文献

- 1) 生物系廃棄物リサイクル研究会：生物系廃棄物のリサイクルの現状と課題 (1992)
- 2) 後藤逸男：下水道施設より回収したリンの利用技術 —— リ

- ン酸質肥料としての利用 ——, 環境技術, Vol. 27, No. 6, pp. 24-28 (1998)
- 3) 小松貴司, 岩井良博, 定塚徹治, 久保山周子, 後藤逸男: 下水処理におけるリン資源リサイクルシステムの開発, Phosphorus Letter, No. 49, pp. 19-30 (2004)
- 4) 久保山周子, 久保田喜子, 小松貴司, 後藤逸男: 下水汚泥焼却灰の組成とアルカリ添加量が熔成汚泥灰複合肥料のリン酸肥効に及ぼす影響, 日本土壤肥料学会誌, Vol. 80, No. 2, pp. 168-172 (2009)