

バイオマス未利用資源を活用した産業創出と中山間地域活性化 —竹チップ、家畜糞ペレット及び汚泥ペレットの燃焼残渣からのリン資源の回収—

地域環境科学科 准教授

桑原 智之

目 的

木質バイオマスや家畜糞等のエネルギー利用を推進・普及させるためには、副産物として排出されるこれらの燃焼残渣から新たな資源的価値を見出し、廃棄物を低減させる必要がある。木質バイオマスや家畜糞等には肥料成分であるリンの含有率が高く、これを高効率に抽出し、かつ肥料取り締まり法に適合した化学形で回収することにより、付加価値の高いリン肥料として再資源化が可能となる。しかし、木質バイオマスや家畜糞の含有成分はそれぞれ異なっており、最適な抽出法を確立する必要がある。さらにできるだけ安価に回収できる方法についても検討する必要がある。本研究では、バイオマス燃料である竹チップ、家畜糞ペレット、下水汚泥（以下、汚泥とする。）ペレットの燃焼残渣を対象にリン抽出・回収方法に係る条件を検討し、中山間地域共同センターで行われている木質バイオマス及び家畜糞等のエネルギー利用に関する研究成果の一部を担うと共に、将来的に県内でのバイオマスエネルギー利用の普及に貢献することを目的とする。

研究成果

各種燃料残渣のリンの全含有量を測定した結果、竹チップ燃焼残渣では $12.3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ($0.38 \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)、家畜糞ペレット燃焼残渣では $19.8 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ($0.61 \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)、汚泥ペレット燃焼残渣では $79.3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ($2.46 \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$) あった。燃焼残渣からリンを抽出するための溶液（以下、抽出液とする。）の種類と濃度は、リンを 90%抽出可能であり、かつできるだけ濃度が低いことを選定条件として検討した結果、 $0.5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 硫酸水溶液が適していることが明らかになった。この抽出液を用いて、同様に 90%以上の抽出率を確保しつつ実質的に抽出操作が可能な最大の固液比は、竹チップ燃焼残渣と汚泥ペレット燃焼残渣で 1:10、家畜糞ペレット燃焼残渣では 1:5 であった。また、リン抽出時間はリン抽出率が 90%を確保できる時間として、竹チップ燃焼残渣と家畜糞ペレット燃焼残渣では 1 時間、下水汚泥ペレット燃焼残渣では 4 時間であった。なお、竹チップ燃焼残渣はリン含有量が低く、一方でカリウム含有量が非常に高いことが明らかになった。さらに、カリウムの抽出液において硫酸水溶液は不適であったことから、リンとカリウムの抽出は別工程とする必要があるため、竹チップ燃焼残渣はリン回収対象から外した。抽出したリンは抽出液に溶存状態で存在するため、これを固体として回収するための方法として石灰凝集法を適用して検討した。家畜糞ペレット燃焼残渣および汚泥ペレット燃焼残渣にはカルシウムがそれぞれ $59.6 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ($2.39 \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$)、 $61.4 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ($2.46 \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$) 含有していることから、リン抽出液に相当量のカルシウムも抽出される。そこで、リン抽出液の pH をアルカリ性に調整することにより、石灰凝集法と同じ原理によりリン酸カルシウム化合物が得られるか検討した結果、家畜糞ペレット燃焼残渣では pH9 に調整するだけでリンの回収に成功し、90%程度の回収率を得た。さらに、回収物を粉末 X 線回折により同定した結果、pH12 以上でヒドロキシアパタイトを生成することが明らかになった。一方、汚泥ペレット燃焼残渣では、pH9 で 90%程度のリン回収率が得られたが、それ以上の pH になると徐々にリン回収率は低下した。さらに pH12 でもヒドロキシアパタイトの生成がわずかに認められた程度であった。汚泥ペレット燃焼残渣では高 pH でリン回収率が低下したことから、抽出したリン濃度

が高く、リン酸カルシウム化合物として反応するカルシウムが抽出液に十分に存在しなかったことが分かった。また pH6~9 で高い回収率を示したが、これは含有するアルミニウムとリンが反応してリン酸アルミニウム化合物を生成したためと考えられる。アルミニウムは植物生長を阻害することから、肥料としては適用できない。したがって、汚泥ペレット燃焼残渣ではリン抽出液にカルシウムを添加し、リン酸カルシウム化合物の生成を促す必要があることが示された。

以上、平成 26 年度は各種燃焼残渣からのリン抽出・回収条件を検討した結果、これらの条件を確定できた。今後は高効率化を目指した条件の精査と、回収リン化合物の肥料取り締まり法に準拠した成分分析を行う必要がある。

社会への貢献

バイオマスは中山間地域で調達可能なエネルギー源であり、その利活用は温暖化進行の抑止策ともされる。エネルギー資源のほとんどを海外に依存する現状を脱却し、国内で循環型のエネルギーを活用していくためには、様々な課題が生じてくる。バイオマスを利用した後に生じる課題は廃棄物対策であり、バイオマス利用残渣を廃棄物とならないように資源としてカスケード利用することが重要である。本研究は、飯南町をモデルケースとしたバイオマスを利用した熱電供給システムを構築し、全国に波及させることを念頭に置いた研究の一端を担っている。バイオマス利用残渣からリンを抽出する方法を開発することにより、日本の将来的なエネルギー施策で生じる問題の解決に貢献し、さらに輸入に依存するリン肥料を自国で調達することで、肥料の大幅な価格変動を抑制することに貢献する。

次年度に向けた検討状況

各種バイオマス燃料の燃焼残渣からリンを抽出・回収するための条件が確定したことから、さらに高効率化を目指した条件を精査する。さらに、回収リン化合物の肥料取り締まり法に準拠した成分分析を行い、有効成分の含有量を詳細に検討し、同時に有害成分の含有の状態によっては精製方法を検討する必要がある。また、実験室レベルから実機レベルでの検証に移行するための装置開発について段取りを進めていく。

学会発表等

1. 山本祥平・壺井晃太郎・桑原智之・佐藤利夫・西 政敏・帯刀一美：リン・カリウム回収 中山間地域研究センターフェア (2014.11.9 飯南町)

外部資金

バイオマス燃焼残渣からリン等を効率的に回収する方法に関する研究に関して、1 件の共同研究を行った。