

요 약 문

I. 제목

부산시 음식폐기물의 석회비료화 기술개발 연구

II. 연구의 목적 및 필요성

유기물을 다량으로 함유하고 있는 유기성 폐기물의 경우 수분 함유량이 높아 부패할 때 심한 악취가 발생하여 다루기가 힘들고, 안전한 처리를 위하여 처리비용과 시간이 많이 소요되며, 또한 안전하게 처리되지 않은 유기성 폐기물은 사회적 및 환경적 문제를 야기한다. 유기성 폐기물 중 하나인 음식폐기물은 다량의 유기물과 영양성분을 포함하고 있어 사료 및 퇴비 등으로서의 이용가치가 충분하며 토양 주입 시 작물의 성장을 촉진시켜 농지의 생산성 향상 및 토양의 투수성·보수력을 증가시킨다(정 외, 2004).

그러나 음식폐기물의 비료로서 자원화는 낮은 회수율과 높은 영양염류 농도, 과량의 이물질·수분·유기물 등이 포함되어 있는 단점을 가지고 있고 이윤이 적어 다른 기술에 비해 발전이 늦었으나 최근 이러한 문제점을 보완하기 위해 생석회를 반응시키는 토양개량제 방법이 연구되고 있다(신 외, 2006).

본 연구에서는 음식폐기물과 생석회 반응을 통해 석회처리 비료를 생산함으로써 음식폐기물 자원화에 기여하고자 하였다. 생석회와 음식폐기물을 반응함으로써 음식폐기물 처리의 고질적인 문제인 악취문제의 해결이 가능하고, 생석회 발열반응을 통하여 기생충 및 병원균 사멸을 도모하여 안정적인 석회처리 비료를 생산할 수 있다. 또한 생석회 주성분인 칼슘과 더불어 질소, 인, 가리 등 보충비료에 의한 작물의 상품가치 및 수확량 증가를 기대할 수 있다.

석회처리 비료의 검증 및 상용화를 위해 본 연구를 통하여 석회처리 비료의 조건별 성장변화를 측정 및 분석하여 석회처리 비료의 자원화 가능성 및 경제성을 검토하였다.

석회처리 비료의 성상은 농촌진흥청에 고시된 ‘비료규격기준’을 기준으로 하여 분석하였으며 제조된 석회처리 비료의 비료로서의 가치를 검토하기 위해 시비량 규명을 통한 토양개량 및 지력의 향상 효과를 검증하고 작물의 생육에 미치는 영향을 연구하였다.

III. 연구의 내용 및 범위

다량의 유기물과 영양성분을 함유하고 있는 음식폐기물은 비료로 이용 가치가 충분하다. 또한 석회는 토양의 삼투성 증대, 토양의 보수력 증대, 토양교질의 응고작용, 응집력의 감소 등 토양의 이화학적 성질을 개선하여 뿌리의 활력을 강화시킴으로 흡수력을 증대시키며 작물의 생육을 저해하는 각종 유해조건을 해소 또는 완충시키거나, 유기물의 분해를 촉진한다. 또한 유기질소를 무기화하고 암모니아성질소를 집적하여 작물 및 토양에 대한 직·간접적 효과가 큰 것으로 인정되고 있다(김외, 2002). 석회는 자체가 토양의 영양분으로 작용하기도 하지만 음식폐기물과 반응시켜 생성되는 높은 열과 pH를 이용하여 음식폐기물 내의 병원균을 사멸시키고 악취문제를 해결하는 등의 역할을 한다. 또한 토양의 이화학적 특성에 영향을 미쳐 토지개량제 및 비료로 사용이 가능하다(이 외, 2007).

석회와 음식폐기물의 수분이 반응하면 열을 발생시킨다. 이 발열반응에 의해 유기화합물이 칼슘 성분으로 코팅처리되며 주요 악취성분의 분해 또는 흡착시키며 수분을 증발시켜 침출수 발생을 근절시킨다. 또한 열에 의해 병원균 및 기생충이 약화 또는 사멸되어 안전한 비료를 생산할 수 있다. 또한 석회반응은 강알칼리 반응으로 반응직후 pH가 12~13까지 증가하여 강알칼리화가 된다. 강알칼리에 의해 총란, 병원균을 사멸시켜 안정처리가 가능하다.

이러한 석회반응을 이용하여 생성된 음식폐기물 석회처리 비료는 음식폐기물에 포함된 영양성분을 포함하므로 작물 생장에 필요한 영양분을 충분히 공급할 수 있다. 또한 생석회의 주성분인 칼슘은 토양의 이화학적 성질을 개선할 뿐만 아니라 작물의 칼슘 흡수를 증대시켜 작물의 경도, 크기, 병원균 등에 대한 저항력 등에 긍정적인 영향을 미쳐 결과적으로 작물의 상품가치를 증가시킬 수 있다.

따라서 본 연구에서는 음식폐기물과 생석회 반응을 통해 석회처리 비료를 제조하여 음식폐기물 자원화 방안을 제공하고자 한다. 제조된 석회처리 비료는 농촌진흥청에 고시된 '비료규격기준'에 따라 검증하며 제품화를 위한 다양한 형태의 비료를 제조한다. 또한 석회처리 비료가 토양 및 작물에 미치는 영향 분석을 실시하여 토양의 이화학적 특성 변화와 작물의 병충해에 대한 저항력, 염수·염장·염면적 등을 관찰한다.

IV. 연구결과

1. 생석회 주입량과 반응시간에 따른 성상 변화

1.1 유기물 변화

본 연구에서 사용한 음식폐기물의 유기물 함량 92.1 % 이다. 통계프로그램인 Minitab을 이용하여 생석회 주입량과 반응시간에 따른 11개 case의 석회처리 비료를 제조하여 분석을 실시한 결과 유기물 함량의 최대값은 생석회 주입비율 15 %와 반응시간 60 min으로 하였을 때 43.0 %로 나타났으며, 최소값은 석회주입비율 39 %와 반응시간 60 min일 때 26.6 %로 나타났다. 생석회 주입비율이 증가할수록 유기물 함량이 감소하는 것으로 나타났으며, 생석회 주입비율이 감소할수록 유기물 함량이 증가하는 것으로 나타났다. 모든 석회처리 비료는 유기물 함량 기준치 10 % 이상을 만족하였다. 반응시간에 관계없이 생석회 주입량이 많을수록 유기물 함량이 줄어드는 경향을 보였으며 이는 생석회 주입량이 증가할수록 음식폐기물의 주입량이 줄어들어 그에 따라 유기물 함유량도 줄어드는 것으로 판단된다.

1.2. 알카리분 변화

생석회 주입량이 20 % 미만일 경우 알카리분은 급격히 감소하는 결과를 보였으며 이는 pH가 낮은 음식폐기물의 양이 상대적으로 생석회 주입량 보다 많아 반응시간 동안 더 많은 알카리분을 소모하였기 때문인 것으로 판단된다. 통계프로그램인 Minitab을 이용하여 생석회 주입량과 반응시간이 알카리분에 미치는 영향을 분석한 결과 생석회 주입량이 증가할수록 알카리분이 증가하는 것으로 나타났다. 생석회 주입량이 약 20 % 이상일 경우 알카리분의 기준치 이상으로 나타났으며, 생석회 주입량이 약 28 % 이상일 경우 알카리분이 25 % 이상으로 나타났다. 반응시간은 알카리분에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

1.3. 염분 변화

생석회 주입량과 반응시간에 따른 염분 변화 실험은 ‘염소이온-질산은적정법’을 통해 분석하였다. 생석회 주입량이 증가할수록 염분농도는 감소하는 경향을 나타냈다. 생석회 주입량이 39 %일 경우 염분농도는 0.76 %로 가장 낮았으며, 반대로 생석회 주입량이 15~19 %로 적게 주입될 경우 염분농도가 1.08~1.12 %로 분석되었다. Minitab 통계분석프로그램을 이용하여 분산분석(ANOVA)을 실시한 결과 생석회 주입량은 염분변화에 영향을 미치는 인자로 나타났으며 반응시간의 영향은 미비한 것으로 나타났다.

1.4. 칼슘 변화

칼슘(Ca)의 농도는 생석회 주입량과 반응시간에 영향을 받았으며, 연속단계추출법을 이용하여 칼슘을 추출한 결과 치환 가능한 부분의 칼슘(Exchangeable fraction

Ca)가 가장 많은 부분을 차지하는 것으로 나타났다. 토양 내 중금속의 형태는 작물에 직접 흡수가 가능한 형태와 흡수 불가능한 형태로 나뉜다. 치환 가능한 부분의 칼슘(%)은 물에 용해가 가능한 형태의 중금속과 치환 가능한 형태의 중금속이 합쳐진 것으로 “흡수 가능한 형태의 중금속”이다. 따라서 치환가능한 부분의 칼슘(%) 농도가 높을수록 음식물쓰레기 석회처리 비료 중의 작물이 바로 흡수할 수 있는 형태의 농도도 높게 나타나므로 품질이 좋은 비료라 할 수 있다. Minitab을 이용하여 분석을 실시한 결과 치환 가능한 부분의 칼슘 농도는 반응시간이 증가할수록 칼슘 농도도 증가하는 것으로 나타났다.

흡수 불가능한 형태의 중금속은 다시 흡수 가능한 형태로 변환이 가능한 형태와 흡수 불가능한 형태로 나눌 수 있다. 흡수 가능한 형태는 CO_3 와 결합된 형태의 칼슘과 Fe나 Mn의 산화물 형태의 칼슘, 그리고 S^{2-} 와의 결합물 형태의 칼슘으로 나눌 수 있다. CO_3 와 결합된 형태의 칼슘의 농도는 반응시간의 영향을 받았다.

또한 흡수 가능한 형태의 칼슘과 흡수 가능한 형태로 변환이 가능한 칼슘의 농도의 합의 변화를 분석한 결과 생석회 주입량과 반응시간이 증가할수록 칼슘 농도도 증가하는 것으로 나타났다.

2. 생석회 및 첨가제 처리에 따른 성상 변화

2.1 함수율 변화

생석회 주입량이 증가함에 따라 함수율은 감소하는 경향을 보였다. 이는 생석회 및 패각과 음식폐기물의 발열반응에 의한 수분 증발 때문인 것으로 판단된다. 음식폐기물과 생석회 반응이 진행되는 동안 높은 온도가 발생하였는데, 생석회 주입량이 증가할수록 온도도 증가하였다. 따라서 생석회 주입량이 증가할수록 증발되는 수분량이 증가하여 함수율이 감소하는 것으로 보인다. 석회처리비료 공정규격에 명시된 함수율은 50 % 이하이며 생석회가 들어간 모든 경우에서 함수율은 규격에 만족하였다. 또한 결합제, 붕해제의 주입량에 따른 함수율 변화를 분석한 결과 결합제 및 붕해제 종류와 관계없이 전체 양이 많을수록 함수율은 줄어드는 경향을 나타내었으며 모든 경우에서 석회처리비료 공정규격에 명시된 함수율 50 % 이하를 만족하였다.

2.2 유기물 변화

생석회 주입량이 증가함에 따라 유기물은 감소하는 경향을 보였다. 이는 생석회의 양이 증가함에 따라 온도도 증가하여 유기물 분해가 일어나 나타나는 결과인 것으로 판단되며 석회처리로 생성되는 알칼리성 환경도 유기물 감소에 영향을 미친 것으로 보인다. 또한 발열반응에 의한 수분 증발로 유기물이 감소하는 효과를 보인 것으로 판단된다. 석회처리비료 공정규격에 명시된 유기물은 10 % 이상이며 모든 경우 유기물은 규격에 맞는 것으로 확인하였다. 또한 펠렛을 만들기 위한 결합제, 붕해제의 주입량에 따른 유기물 변화를 분석한 결과 결합제 및 붕해제 종류와 관계

없이 전체 결합제 및 봉해제 양이 많을수록 유기물이 증가하는 경향을 보였으며 결합제 및 봉해제가 유기물이 포함하는 것으로 추측된다. 모든 경우에서 석회처리비용 공정규격에 명시된 유기물 10 % 이상을 만족하였다.

2.3 염분 변화

생석회 및 패각 투입에 따라 염분의 변화는 뚜렷한 경향을 보이지 않았으며 0.14 ~ 0.29 % 범위로 나타났다. 석회처리비용 공정규격의 염분 기준은 2 % 이하이며 모든 경우에서 염분은 규격에 만족하였다. 펠렛을 만들기 위한 결합제, 봉해제의 투입량에 따른 염분 변화는 결합제 및 봉해제 종류마다 투입량에 따른 뚜렷한 경향은 나타나지 않았으며 모든 경우에서 석회처리비용 공정규격에 명시된 염분 2 % 이하를 만족하였다.

2.4 알카리분 변화

생석회 투입이 증가할수록 알카리분은 증가하는 경향을 보였으며 이는 생석회 자체의 알카리분으로 인한 것으로 추측된다. 석회처리비용 공정규격의 알카리분 기준은 15 % 이상이며 모든 경우에서 알카리분은 규격에 맞는 것을 확인하였다.

펠렛을 만들기 위한 결합제, 봉해제의 투입량에 따른 알카리분 변화는 결합제 및 봉해제 종류마다 투입량에 따른 뚜렷한 경향은 나타나지 않았으며 모든 경우에서 24 %로써 석회처리비용 공정규격에 명시된 염분 15 % 이상을 만족하였다.

2.5 칼슘과 가리 변화

칼슘의 변화에서 생석회 투입이 증가할수록 칼슘 농도는 증가하는 경향을 보였으며 이는 생석회 자체의 칼슘에 의한 것으로 추측된다. 펠렛을 만들기 위한 결합제, 봉해제의 투입량에 따른 칼슘 변화는 결합제 및 봉해제 종류마다 투입량에 따른 뚜렷한 변화 경향은 나타나지 않았으며 모든 경우에서 1.8 ~ 2.1 %로 나타나는 것을 확인하였다.

가리는 생석회와 결합제 및 봉해제 투입량과 관련이 없는 것으로 나타났다. 석회처리비용 공정규격의 가리는 1 % 이상으로 모든 경우에서 가리는 규격에 만족하였다. 펠렛을 만들기 위한 결합제, 봉해제의 투입량에 따른 가리 변화는 결합제 및 봉해제 종류마다 투입량에 따른 뚜렷한 경향은 나타나지 않았으며 모든 경우에서 석회처리비용 공정규격에 명시된 가리 1 % 이상을 만족하였다.

2.6 질소와 인 변화

생석회 투입량이 적을수록 질소 함유량은 증가하였으며, 질소의 석회처리비용 공정규격 기준은 1 % 이상이다. 모든 경우에서 질소 규격에 만족하였다. 펠렛을 만들기 위한 결합제, 봉해제의 투입량에 따른 질소 변화는 결합제 및 봉해제 종류마다 투입량에 따른 뚜렷한 경향은 나타나지 않았으나 모든 경우에 석회처리비용 공정규

격에 명시된 질소 1 % 이상을 만족하였다.

인 함유량은 생석회 주입량이 적을수록 증가하는 것으로 나타났다. 석회처리비료 공정규격의 인 기준은 1 % 이상이며 모든 경우에서 가리는 규격에 만족하였다. 펠렛을 만들기 위한 결합제, 봉해제의 주입량에 따른 인 변화를 나타냈다. 결합제 및 봉해제 종류마다 투입량에 따른 뚜렷한 경향은 나타나지 않았으며 모든 경우에서 석회처리비료 공정규격에 명시된 인 1 % 이상을 만족하였다.

2.7 중금속 변화

생석회 주입량이 증가할수록, 패각 주입량이 감소할수록 중금속 함유량은 감소하는 경향을 보였다. 석회처리비료 공정규격의 중금속 규격기준은 모든 항목에서 기준치 미달로 적절한 것으로 확인하였다. 결합제 및 봉해제 주입량에 따른 중금속 함유량 변화는 미비하였고 “석회처리 비료 6”의 납(Pb)을 제외한 모든 항목에서 기준치 미달로 나타났다.

2.8 붕괴도와 경도 변화

붕괴도 측정을 위한 실험 설계 및 분석은 반응표면분석법을 이용하여 실시하였으며 파우더 형태의 음식폐기물 석회처리 비료와 결합제 및 봉해제 주입량(%)에 따른 최종생성물(석회비료)의 붕괴도 변화를 분석하였다. 결합제 및 봉해제(%)의 주입량은 0.0~3.0 % 범위 내 변수요인 조건에서 진행되었다. 결합제의 주입량이 늘어남에 따라 붕괴도가 감소하는 것으로 관찰되었으나 봉해제(%)와는 뚜렷한 연관성을 보이지 않았다. 봉해제 주입 1~2 % 사이에 붕괴도 최저점이 나타났다.

생석회 및 첨가제 처리에 따른 음식폐기물 석회처리 비료의 경도 변화를 분석하였다. 최적의 결합제와 봉해제 주입량 결정을 위해 통계프로그램인 Minitab을 이용하여 펠렛 형태의 석회처리 비료의 경도 실험을 설계 및 분석하였다. 경도는 경도측정기 SLD 50 FGN(USA TECH & MATERIAL)을 이용하였으며 경도 측정에서 결합제 및 봉해제(%)의 주입량은 0.0~3.0 % 범위 내 변수요인 조건에서 붕괴도 실험 후 진행되었다. 결합제의 주입량이 늘어남에 따라 경도가 증가하는 경향을 보였으며 봉해제(%)와 뚜렷한 연관성은 나타나지 않았다. 봉해제 주입 1~2 % 사이에서 경도 최고점이 나타났다.

3. 작물재배 실험

3.1 음식폐기물 석회처리 비료 시용이 토마토 생육 및 과실품질에 미치는 효과

음식 폐기물 석회처리 비료 시용이 토양 이화학적 성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 정식전과 시용 후 토양의 pH 변화를 관찰하였다. 토양의 pH는 모든 시용구에서 6.21 ~ 6.59로 무처리구 보다 높게 나타났으며 이를 통해 음식폐기물 석회처리 비료를 시용함으로 토양 pH가 증가하는 효과(박, 2004)를 확인하였다. EC는 토양 내 염분을 의미하는 것으로 공시재료의 시비량 증가에 따라 EC 함량은 상승하는 경향

을 보였다. 무시용구로 일반 관행재배로 화학비료를 표준 시비하였기 때문에 가용성 인산함량이나 가리, 마그네슘 함량 및 유기물 함량과 모든 처리구간의 변화는 없었다. CEC(Cation exchange capacity)는 토양의 양이온 치환 용량 의미하는데 음식폐기물 석회처리 비료를 시용함으로 토양 중 칼슘함량이 다소 높게 나타나 CEC함량도 비례하여 증가하였다.

석회처리 비료가 토마토 생육에 미치는 영향을 알아보기 위해 토마토 생육조사를 실시한 결과 초장은 무처리구에 비해 처리구에서 뚜렷하게 길었으며 경경도 다소 굵어지는 경향을 보였다. 엽수와 엽면적은 비료 시용량이 많을수록 감소하는 것으로 나타났다. 석회처리 비료는 적정량을 시비함으로 토양의 공극층을 발달시키는 입단화현상과 토양 유용 미생물의 증식에도 큰 도움을 주지만 과잉 시비는 오히려 토양의 무리성과 화학성, 생물성을 악화시키는 것으로 나타났다. 그러나 알맞은 칼슘시용은 토양의 입단화작용 뿌리가 발달하므로 지상부의 생육도 좋아지는 것으로 사료된다.

음식폐기물 석회처리 비료가 토마토 과실의 품질에 미치는 영향을 조사한 결과 과고 및 과폭이 다소 증가하는 것을 확인할 수 있었으며 이는 석회처리 비료 시용으로 토양조건이 좋아지면 뿌리 생육도 왕성하고 수분흡수 및 칼슘흡수도 증가하여 과실의 세포벽이 발달하고 과실의 크기 즉 과고와 과폭이 증가하는 경향이 뚜렷이 나타나기 때문인 것으로 사료된다.

3.2 음식폐기물 석회처리 비료 시용이 적치마 상추 생육에 미치는 효과

정식 전 토양은 약산성으로 5.93이며 유기물 함량이나, EC는 적정치이며, 질산태 질소 함량은 215.4 mg/kg으로 많은 편은 아니지만 일반 토양에서 보다는 다소 낮은 편이다. 인산 함량도 낮은 편이며 치환성 염기는 다소 높은 편이었으나, 전반적으로 엽채류 시험포로서는 적절하였다. 토양의 이화학성 특성 변화는 시용량이 많을수록 pH는 무처리 6.13 보다 다소 높아졌고, 질산태질소 및 치환성 염기는 무처리 보다 감소하였으나, 마그네슘과 CEC는 처리별 변화가 없었다.

음식폐기물 석회처리 비료를 사용하여 상추 생육에 미치는 영향을 조사한 결과 총 엽수는 시용구에서 더 많이 나타났으며, 외엽과 내엽이 더욱 발달하는 것으로 나타났다. 그러나 석회처리 비료의 과잉시비는 뿌리 및 지상부의 생육을 억제하는 경향을 보였다.

V. 연구결과의 활용계획

본 연구 결과를 바탕으로 음식물류 폐기물의 석회처리 비료 제작에 요구되는 생석회 주입량, 첨가제의 주입량 및 봉해제 및 결합제의 주입량을 결정하여 농촌진흥청 고시의 “비료 공정규격설정 및 지정” 석회처리 비료 기준에 적합한 석회처리 비료 및 석회처리 보증비료를 생산하여 각 지역에서 발생하는 음식폐기물의 석회 비료화에 적용시킬 예정이다.

현재 적용을 위한 실행 및 계획이 이루어지고 있는 곳은 아래와 같다.

1. 강원도 강릉시 강동면 소재 (주)그린에서 음식물류 폐기물 석회처리용 기계 설비 시설 판매 예정(1일 100톤 처리용량, 2014년 12월 15일 부로 웰빙그린(주)로 등기 완료)
2. 전남 무안군 소재 (유)성신에서 음식물류 폐기물 처리공장 부지 포함 설비시설 판매 예정(1일 100톤 처리용량, MOU 계약체결)
3. 전북 익산군 소재 영농조합 일괄 (석회처리비료제조 허가 유)에서 돈분을 처리하기 위한 석회처리비료용 기계(1일 1톤 처리용량) 공급 계획
4. 베트남 5년간 석회처리비료 공급(MOU 계약체결)을 위하여 베트남 토양에 적합한 석회처리비료 제조방법을 본 연구를 기반으로 조정 중