Korean Journal of Environmental Agriculture

Korean J Environ Agric. 2017;36(1):1-6. Korean
Published online 2017 January 26. https://doi.org/10.5338/KJEA.2017.36.1.01

Online ISSN: 2233-4173
Print ISSN: 1225-3537

Research Article

CrossMark Open Access

용성인비와 비교한 골분의 인산질 비료 효과

정종배*, 정병룡
대구대학교 생명환경대학 생명환경학부

Relative Effectiveness of Bone Meal as a Phosphorus Fertilizer Compared with Fused Phosphate

Jong-Bae Chung* and Byeong-Ryong Jeong (Division of Life and Environmental Science, College of Life and Environmental Science, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea)

Received: 2 January 2017 / Revised: 16 January 2017 / Accepted: 19 January 2017
Copyright ⓒ 2017 The Korean Society of Environmental Agriculture
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ORCID
Jong-Bae Chung
http://orcid.org/0000-0002-5284-2272
Byeong-Ryong Jeong
http://orcid.org/0000-0002-0607-4161

Abstract

BACKGROUND: Bone meal is commonly used as a phosphorus (P) fertilizer in organic farming. Effectiveness of bone meal was compared with mineral P fertilizer to elucidate the optimum application rates of bone meal in crop production.

METHODS AND RESULTS: The effects of bone meal and fused phosphate on plant growth and P uptake were determined in a pot experiment with maize (*Zea mays* L.) in a clay loam soil. Bone meal and fused phosphate were applied at 150 and 300 mg P_2O_5/kg soil, and maize was grown for 3 consecutive growth periods of 4 to 5 weeks each. As compared with fused phosphate, total shoot growth of maize per pot was 3-6% lower in bone meal fertilization, and the difference was not significant in the application of 300 mg P_2O_5/kg. At the same P application rate, uptake of P by maize plants was 7-9% lower in bone meal treatment. The P use efficiency in bone meal treatments ranged from 11.9-13.6%, equivalent to 73-84% of the efficiency for fused phosphate treatments.

CONCLUSION: The equivalence of immediate effectiveness of bone meal as a P fertilizer was at least 90% compared with fused phosphate in the pot experiment with maize. The results indicate that bone meal could be a reasonable alternative to chemical P fertilizers.

Key words: Bone Meal, Fused Phosphate, Maize, Phosphorus Fertilizer

*Corresponding author: Jong-Bae Chung
Phone: +82-53-850-6755; Fax: +82-53-850-6759;
E-mail: jbchung@daegu.ac.kr

서 론

도축 부산물인 뼈와 고기를 혼합하여 가공 분쇄한 것을 육골분(meat and bone meal)이라고 하며, 뼈만을 가공 분쇄한 것을 골분(bone meal)이라고 한다. 육골분은 단백질과 무기질 공급원으로 주로 가축 사료로 사용되었으나, 광우병 전파 위험성이 제기되면서 세계적으로 반추동물 사료로 사용하는 것은 금지되어 있다(Brewer, 1999; Kamphues, 2002). 유럽연합에서는 EC Regulation No. 1774/2002에 따라 육골분을 비료나 비료의 원료물질로 사용하는 것 또한 엄격히 제한하기도 했다.

미국과 유럽 일부 국가 등 세계적으로 돼지와 닭 등 단위 가축이나 어류, 애완동물의 사료로 육골분의 사용을 허용하고 있으며, 광우병에 감염되지 않은 가축 부산물을 적절히 가열 처리한 육골분을 유럽 전역에서 유기질비료로 사용할 수 있도록 허용하고 있다(EC Regulation No 181/2006).

우리나라에서는 소수의 업체에서 육골분과 골분을 연간 5000-7000 ton 정도 생산하고 있다. 단백질 함량이 높은 육골분은 돼지와 닭의 사료로 사용되며, 골분은 주로 인산질 비료로 사용되고 있다. 골분은 우리나라 비료공정규격에서 유기

Table 1. Characteristics of the experimental soil

pH (1:5 H_2O)	Organic matter	Total N	Total P	Available P	Texture
	g/kg	g/kg	g P_2O_5/kg	mg P_2O_5/kg	
6.6	29.7	1.0	1.6	71.7	Clay loam

Table 2. Contents of phosphorus in bone meal and fused phosphate fertilizer used in the experiment

Fertilizer	Water soluble P	Citric acid extractable P	Total P
	-------------- % P_2O_5 --------------		
Bone meal	0.39	18.4	19.6
Fused phosphate	0.02	16.8	19.1

질 비료의 일종으로 규정되어 있으며, 3종의 골분 제품이 유기농업자재로 공시되어 있다.

골분의 수산화인회석(hydroxyapatite, $Ca_5(PO_4)_3OH$)은 PO_4^{3-}가 CO_3^{2-}에 의해 동형치환됨으로써 광물 인회석에 비해 용해도가 높으며(Wopenka and Pasteris, 2005), 인광석보다도 훨씬 더 효과적인 인산 공급원으로 밝혀져 있다(Bekele and Höfner, 1993; Kahiluoto and Vestberg, 1998). 질소와 인산이 평균 8% 및 5% 함유된 육골분은 곡류 작물과 목초류에 대해 화학비료와 거의 대등한 효과를 나타내며, 후작물에 대한 잔류효과가 크다(Valenzuela *et al.*, 2000; Jeng *et al.*, 2006; Ylivainio *et al.*, 2008; Brod *et al.*, 2012; Nogalska *et al.*, 2012; Nogalska and Zalewska, 2013). 그리고 사탕무, 당근, 토마토 등의 작물에서도 무기질 복합비료 처리와 비교하여 육골분 또는 골분 처리에서 수량은 다소 적거나 대등한 것으로 밝혀져 있다(Klock and Taber, 1996; Kivelä *et al.*, 2015).

국내에서 유기농업의 확대로 골분의 사용량이 증가하고 있으며, 특히 제주도에서 연간 3000-4000 ton 정도 소비되는 것으로 추정된다. 골분이 5%에서 많게는 37%까지 함유된 제3종 복합비료가 제주도에서 감귤과 각종 밭작물 재배에 사용되고 있다(제주비료(주) 자료). 골분 제조회사에서는 작물별 시용량을 실 중량으로 100-160 kg/10a 정도로 제시하고 있으나 이에 대한 합리적인 근거나 골분 시용 효과에 대한 조사자료가 국내에는 없는 실정이다. 농촌진흥청에서는 작물별 3요소 표준시비기준을 설정해 두고 있으며, 이를 기준으로 인산의 경우 주로 용성인비를 시용한다. 따라서 용성인비에 대한 골분의 상대적인 인산 비효를 알아내면 작물별 골분의 적정 시비량을 대략적으로 추정할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 인산 공급용 자재로서 골분의 비효와 적정 시용량을 구명하기 위해 포트시험으로 옥수수의 생장 및 인산 흡수에 대한 골분의 효과를 용성인비와 비교하여 조사하였다.

재료 및 방법

대구대학교 부속농장 밭 포장에서 채취한 토양을 풍건시킨 후 5 mm 체에 통과시켜 옥수수 재배시험에 사용하였다. 공시 토양은 귀산통(fine, mixed, mesic family of Typic Hapludults)으로 주요 이화학적 특성은 Table 1과 같았다. 유기물과 총질소 함량은 각각 Walkley-Black 방법 및 Kjeldahl 방법으로 분석하였고, 총 인산과 유효태 인산 함량은 각각 과염소산($HClO_4$)분해법 및 Lancaster 방법으로 추출하여 ICP atomic emission spectrometer (720-ES Series, Varian Inc., Palo Alto, California, USA)로 정량하였다 (Page, 1982; Cox, 2001). 토양의 입경조성은 micropipette 방법으로 분석하였다(Miller and Miller, 1987).

골분은 (주)경림의 펠릿형 제품을 사용하였고, 대조 인산질 비료로는 (주)조비의 용성인비를 사용하였다. 농촌진흥청에서 고시한 비료 이화학적 검사방법으로 분석한 골분과 용성인비의 인산 함량은 Table 2와 같았다.

골분과 용성인비를 1 mm 체에 통과하도록 분쇄한 후 각각 150 및 300 mg P_2O_5/kg 수준으로 토양에 균일하게 혼합하였고, 인산질 비료를 첨가하지 않은 토양을 대조처리로 하였다. 질소와 칼리는 NH_4NO_3와 KCl을 이용하여 모든 시험토양에 각각 200 mg/kg 수준으로 처리하였다. 자세한 시비처리 내용은 Table 3과 같았다.

포트시험으로 1회 인산질 비료 처리 후 4-5주씩 3차례 연속으로 옥수수를 재배하였다. 시비 처리된 토양 1 kg을 포트(상면 직경 14 cm, 높이 9 cm)에 담고 수분 함량을 포장용수량의 50% 조절하였으며, 2일 후 각 포트당 옥수수(성우종묘, 흰찰옥수수) 종자 4개씩을 파종하였다. 각 처리별 3반복의 임의배치방법으로 유리온실에서 재배시험을 수행하였다. 파종 2주 후에 각 포트 토양에 NH_4NO_3와 KCl로 질소와 칼리를 각각 200 mg씩 처리하여 질소와 칼리가 부족하지 않도록 하였다. 1차 파종 후 4주간 재배하고 옥수수 식물체 지상부를 수확하였다. 1주일 후 포트에서 옥수수의 굵은 뿌리 부분을 제거한 후 골분 또는 용성인비의 처리 없이 질소와 칼리만을 각각 200 mg씩 처리한 후 2차로 옥수수를 파종하여 1차 재배방법과 동일하게 5주간 재배하고 식물체 지상부를 수확하였으며, 이후 다시 동일한 방법으로 3차로 5주간 옥수수를 재배하였다.

처리별로 수확한 옥수수 식물체를 60℃ 건조기에서 72시간 건조시킨 후 건물 중을 조사하였다. 옥수수 식물체 중의 인산 함량은 건조 식물체를 분쇄한 다음 Kjeldahl 방법으로 분해시킨 후 ICP atomic emission spectrometer를 이용하

Table 3. Fertilization treatments of the greenhouse pot experiment

Treatment	P fertilizer[a)]		N and K fertilizer[b)]	
	Bone meal	Fused phosphate	NH_4NO_3	KCl
	----- mg P_2O_5/kg -----		mg N/kg	mg K/kg
Control	-	-	200+200	200+200
BM-150	150	-	200+200	200+200
BM-300	300	-	200+200	200+200
FP-150	-	150	200+200	200+200
FP-300	-	300	200+200	200+200

a) P fertilizer was applied only once before seeding of the first maize cultivation.
b) N and K fertilizers were applied before and 2 weeks after seeding in each maize cultivation.

Table 4. Effect of P fertilizer treatments on the shoot dry matter yield of maize

Treatment	1st harvest	2nd harvest	3rd harvest	Total
	------------ g/plant ------------			g/pot
Control	2.12 d[a)]	1.62 d	1.21 c	19.8 d
BM-150	2.35 c	2.22 bc	1.47 b	24.1 c
BM-300	2.55 b	2.50 a	1.85 a	27.6 a
FP-150	2.52 b	2.28 bc	1.59 b	25.6 b
FP-300	2.79 a	2.46 ab	1.89 a	28.5 a

a) Means in the same column with the same letter are not significantly different according to DMRT (p<0.05).

여 분석하였다.

골분과 용성인비 처리에 따른 옥수수 생장과 인 흡수의 처리별 차이에 대한 유의성 검정은 Excel 프로그램으로 분산분석과 F-test를 실시한 후 5% 유의수준에서 Duncan 다중검정법으로 수행하였다.

결과 및 고찰

골분과 용성인비 처리별 3차례 연속 재배한 옥수수 식물체 지상부의 건물 중은 Table 4와 같았으며, 골분 및 용성인비의 처리에 따라 옥수수의 생장은 무처리에 비해 증가하였다. 1차 재배의 경우 인산 처리 수준별로 골분에 비해 용성인비 처리에서 옥수수 건물 생산량이 많았으며, 골분 300 mg/kg과 용성인비 150 mg/kg 처리 사이에 옥수수 건물 생산량에 차이는 없었다. 2차 및 3차 재배에서는 1차 재배에 비해 전체적으로 건물 생산량이 감소하였다. 대조구를 포함하여 용성인비와 골분의 150 mg/kg 처리구에서는 3차 재배 중에 인산의 결핍증상인 자색을 띠는 잎이 관찰된 것으로 보아 2, 3차 재배 옥수수의 생장 감소는 토양 중 유효인산의 감소에 기인하는 것으로 판단된다. 그리고 2차 및 3차 재배에서는 동일한 인산 처리 수준에서 옥수수 생장은 용성인비 처리에서 다소 우세하였으나 통계적으로 유의성 있는 차이는 없었다. 이와 같은 결과는 골분의 효과가 용성인비에 비해 서서히 나타나기 때문인 것으로 보이며, 골분과 과석의 인산 효과를 비교한 옥수수 재배시험에서도 초기 생장은 골분 처리에서 크게 적었지만 2차와 3차 재배에서는 생장 차이가 크지 않았다(Baker *et al.*, 1989).

3차례 재배 수확한 옥수수 지상부의 총 건물 중을 포트별로 비교하면, 용성인비 300 mg/kg 처리에서 가장 많았으며 골분 300 mg/kg 처리와 비교하였을 때 유의성 있는 차이는 없었다. 인산 150 mg/kg 수준에서는 300 mg/kg 처리에 비해 포트별 총 건물 중이 적었으며, 옥수수 생장에 미치는 효과는 골분에 비해 용성인비 처리에서 유의성 있게 큰 것으로 나타났다. 골분 처리구의 포트당 평균 옥수수 건물 총 생산량을 용성인비 처리구와 비교하면, 150 및 300 mg/kg 인산 처리 수준에서 각각 94 및 97% 정도이었다. 따라서 옥수수 생장에 미치는 골분의 효과는 용성인비의 효과에 매우 근접한 수준이며, 인산 시비량이 증가함에 따라 작물 생장에 미치는 골분과 용성인비의 효과는 거의 동일한 것으로 판단된다.

골분의 인산 공급 효율을 조사하기 위해 옥수수 식물체 중의 인산 함량과 흡수량을 측정한 결과는 Table 5와 같았다. 골분과 용성인비 처리에서 옥수수 지상부 식물체의 인산 함량은 무처리에 비해 높았으며, 골분과 용성인비 처리에서 인산 처리 수준별로 옥수수 지상부의 인산 함량에는 전반적으로 차이가 없었다. 3차 재배에서는 다른 처리에 비해 용성인비 300 mg/kg 처리에서 통계적으로 유의성 있게 인산 함량이 높았는데, 인산 결핍 증상이 나타나지 않은 것으로 보아 다른 처리에 비해 토양 유효인산 함량이 상대적으로 높았기 때문일 것이다. 옥수수 지상부의 인산 함량 평균값은 골분 처리의 경우 용성인비 처리와 비교하여 92-98% 수준이었다.

Table 5. Content and uptake of P in shoot of maize plant as influenced by the P fertilizer treatments

Treatment	Content of P in shoot			Uptake of P in shoot			
	1st harvest	2nd harvest	3rd harvest	1st harvest	2nd harvest	3rd harvest	Total
	------- g P/kg -------			-------- g P/pot --------			
Control	1.44 b[a)]	1.16 c	0.94 c	9.3	9.9	4.6	23.8 e
BM-150	1.58 a	1.33 b	1.06 b	13.9	12.5	6.2	32.7 d
BM-300	1.59 a	1.48 ab	1.13 b	15.9	15.1	8.4	39.3 b
FP-150	1.61 a	1.42 ab	1.12 b	14.6	14.2	7.2	36.0 c
FP-300	1.63 a	1.52 a	1.23 a	16.1	16.9	9.3	42.3 a

[a)] Means in the same column with the same letter are not significantly different according to DMRT (p<0.05).

용성인비에 비해 골분에 수용성과 구용성 인산이 더 많이 함유된 것으로 분석되었으나(Table 2), 실제 옥수수의 인산 함량은 용성인비 처리에서 평균적으로 더 많았다. 이러한 결과는 화학적인 분석에서 특히 0.2 mm 이하로 분쇄한 골분의 구용성 인산 함량이 용성인비에 비해 높았지만 실제 토양에서는 직경 0.5 mm 이상의 단단한 입자가 많이 함유된 골분의 인산 용출률이 100-200 mesh의 분말을 입상화한 용성인비에 비해 상대적으로 낮았기 때문으로 판단된다. 골분을 미세하게 분쇄할수록 인산의 용출이 빠르며, 40 mesh 골분의 인산 유효도는 20 mesh 골분에 비해 21% 더 높은 것으로 밝혀져 있다(Baker *et al.*, 1989).

1차 재배 옥수수에 비해 2차 및 3차 재배 옥수수의 인산 함량은 감소하였다. 3차 재배의 경우 인산 함량이 현저히 낮아 옥수수 유식물 지상부의 임계농도인 0.14%에 미치지 못하였으며(Zia *et al.*, 1988), 이로 인해 옥수수의 생장 또한 1차와 2차 재배에 비해 감소된 것으로 판단된다. 이는 시험기간 중 작물에 의한 흡수나 불용화 등에 따라 토양 중 유효인산 함량이 감소하였기 때문일 것이다.

각 처리별 식물의 생장 차이에 따른 희석효과를 고려하여 골분의 인산 공급효율을 옥수수의 인산 흡수량으로 계산하여 Table 5에 나타내었다. 3차례 재배 수확한 옥수수의 포트당 인산 총 흡수량을 보면, 골분과 용성인비 처리 및 각 비료의 처리 수준별로 유의성 있는 차이를 보였다. 골분 처리에 비해 용성인비 처리에서 옥수수의 인산 흡수량이 많았으며, 또한 골분과 용성인비의 처리량이 많을수록 인산 흡수량도 증가하였다. 처리 수준별로 비교하였을 때, 골분 처리 옥수수의 인산 흡수량은 용성인비 처리 옥수수 인산 흡수량의 91-93%에 해당하였다.

골분과 용성인비 수준별 처리에 따른 옥수수의 인산 이용률은 용성인비 150 mg/kg 처리에서 가장 높았고 골분 300 mg/kg 처리에서 가장 낮았는데, 용성인비에 비해 골분의 인산 이용률이 낮았고 처리량이 많을수록 이용률이 낮았다(Table 6). 작물의 일반적인 인산질 비료 이용률은 10-25% 정도이다(Syers *et al.*, 2008). 본 연구에서는 유효인산 함량이 70 mg/kg 정도로 낮은 토양을 사용하였으므로 인산의 고정이 많이 발생하여 골분과 용성인비 이용률이 상대적으로 낮은 것으로 판단되며(Pote *et al.*, 1996), 처리 수준이 높을수록 흡수량에 비해 상대적으로 불용화 된 인산의 비율이 많아진 것이다. 용성인비 대비 골분 인산의 이용률은 150 및 300 mg/kg 처리에서 각각 73% 및 84% 수준이었다. 앞서 언급한 바와 같이 구용성 인산 함량의 차이에도 불구하고 골분의 인산 이용률이 낮은 것은 입자 크기에 따른 토양 중 인산 용출률의 차이에 따른 결과인 것으로 추정된다.

Table 6. Phosphorus fertilizer use efficiency of maize in different bone meal and fused phosphate treatments

Treatment	P fertilizer use efficiency[a)]
	%
BM-150	13.6
BM-300	11.9
FP-150	18.7
FP-300	14.1

[a)] (P uptake by maize fertilized – P uptake by maize unfertilized)/P fertilizer input

이상의 결과를 보면, 인산질 비료로서의 골분의 효과는 용성인비에 다소 못 미치지만 시비량을 적절히 조절하여 용성인비를 대체할 수 있을 것으로 판단된다. 과석과 육골분을 처리하고 옥수수를 3회 연속 재배한 연구의 결과를 보면(Baker *et al.*, 1989), 1차 재배에서는 육골분 처리에서 옥수수의 생장이 과석 처리 대비 평균 83%이었고 2차와 3차 재배에서는 각각 96 및 91%에 달하였다. 시비 후 초기에는 골분의 비효가 과석에 비해 낮으나 골분의 비효 지속성은 상대적으로 크게 나타난 것이다. 보리와 옥수수에 대해 육골분을 인산 기준으로 화학비료와 유사한 수준으로 처리하였을 때, 수량은 화학비료 처리 대비 90-93% 정도이었다(Jeng *et al.*, 2006; Nogalska *et al.*, 2012). 육골분과 화학비료 처리에 따른 사탕무와 당근의 생장을 비교한 연구에서 골분 처리 시 화학비료 처리에 비해 사탕무의 수확량이 토성별로 11.4 및 19.6% 적었으며, 당근 수량은 14% 정도 감소하는 것으로 밝혀져 있다(Kivelä *et al.*, 2015). 토마토 유식물 재배실험에서 과석 대비 골분 처리의 식물생장은 92% 수준이었다(Klock and Taber, 1996).

골분은 화학 인산질 비료에 비해 후작물에 대한 잔류효과

가 큰 것으로 밝혀져 있다. 골분을 115-230 mg P_2O_5/kg 수준으로 처리한 독보리(ryegrass) 재배시험에서 과석처리 대비 당해 연도 건물 생산량은 평균 83% 수준이었으나 2차 및 3차 연도에는 91% 정도로 골분의 작물생산효율이 시비 해당연도와 비교하여 상대적으로 높았으며, 첫해에 시비 인산의 20% 정도가 작물에 흡수되고 60%가 3년 동안 토양에 잔류하였다(Ylivainio *et al.*, 2008). 골분을 처리한 경우에 화학인산질 비료에 비해 작물 재배 후 토양의 유효인산 함량이 더 높아지며, 비효는 느리게 나타나지만 후작물에 대한 잔류효과가 큰 것으로 여러 연구에서 밝혀져 있다(Valenzuela *et al.*, 2000; Jeng *et al.*, 2006; Nogalska and Zalewska, 2013; Nogalska *et al.*, 2014).

본 연구의 결과와 앞서 인용한 다양한 작물과 환경조건에서 이루어진 선행 연구결과들을 고려하면, 시비 해당연도 골분의 작물 생산효과는 과석 등 무기 인산질 비료와 비교하여 80-95% 수준이다. 따라서 골분의 적정 시비량은 무기 인산질 비료 시용량과 비교하여 10% 내외로 더 많아야 할 것으로 추정된다. 다만 골분의 잔류효과가 큰 점을 고려하면 골분을 인산 공급원으로 장기간 시용할 경우 무기 인산질 비료 시용량과 동일한 수준으로 시용하여도 인산 공급에 부족함이 없을 것이다.

농촌진흥청에서는 퇴비를 기비로 시용하는 관행농업에 대해 작물별 인산 표준시비량을 토양 비옥도와 재배방식에 따라 5-15 kg P_2O_5/10a 범위로 설정해 두었으며, 이는 10 cm 깊이 표토에 대략 40-170 mg P_2O_5/kg 수준으로 시비하는 것이다. 골분 생산업체에서는 퇴비 사용 농가에 대해 실 중량으로 10a당 100-160 kg의 골분을 시용하도록 추천하고 있다. 이러한 골분 추천시비량은 10 cm 깊이 표토에 150-240 mg P_2O_5/kg 수준으로 시비하는 것이며, 표준시비량에 비해 다소 과다한 수준인 것으로 판단된다.

요 약

유기농업자재로 친환경농업에서 널리 사용되고 있는 골분의 적정 시비량을 추정하고자 포트시험으로 골분과 용성인비를 각각 150 및 300 mg P_2O_5/kg 수준으로 처리한 토양에서 옥수수를 4-5주씩 3회 연속 재배하여 골분의 인산 비효를 용성인비와 비교하여 조사하였다.

포트당 옥수수 지상부 총 건물 중은 150 및 300 mg P_2O_5/kg 처리에서 용성인비에 비해 골분 처리에서 각각 6% 및 3% 적었으며, 인산 흡수량 또한 골분 처리에서 7-9% 정도 적었다. 이러한 결과를 보면, 골분을 기존 작물별 표준시비량보다 대략 10% 정도 높여 시용하면 용성인비와 대등한 수준의 비효를 거둘 수 있을 것으로 판단된다. 비료용 시판 골분에는 직경 1 mm 이상의 굵은 뼈 입자가 18% 이상 함유되어 있다는 점과 이러한 골분을 연용할 경우 잔류효과가 기대되는 점을 고려하여 포장시험을 통해 작물별 적정시비량이나 시용주기 등 보다 상세한 골분 시용방법을 결정해야 할 것이다.

Acknowledgement

This research was supported by the Daegu University Research Fund in 2014.

References

Baker, A. M., Trimm, J. R., & Sikora, F. R. (1989). Availability of phosphorus in bone meal. Journal-Association of Official Analytical Chemists, 72(5), 867-869.

Bekele, T., & Höfner, W. (1993). Effects of different phosphate fertilizers on yield of barley and rape seed on reddish brown soils of the Ethiopian highlands. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 34(3), 243-250.

Brewer, M. S. (1999). Current status of bovine spongiform encephalopathy – A review. Journal of Muscle Foods, 10(1), 97-117.

Brod, E., Haraldsen, T. K., & Breland, T. A. (2012). Fertilization effects of organic waste resources and bottom wood ash: results from a pot experiment. Agricultural and Food Science, 21(4), 332-347.

Cox, M. S. (2001). The Lancaster soil test method as an alternative to the Mehlich 3 soil test method. Soil Science, 166(7), 484-489.

Jeng, A. S., Haraldsen, T. K., Grønlund, A., & Pedersen, P. A. (2006). Meat and bone meal as nitrogen and phosphorus fertilizer to cereals and rye grass. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 76, 183-191.

Kahiluoto, H., & Vestberg, M. (1998). The effect of arbuscular mycorrhiza on biomass production and phosphorus uptake from sparingly soluble sources by leek (*Allium porrum* L.) in Finnish field soils. Biological Agriculture and Horticulture, 16(1), 65-85.

Kamphues, J. (2002). Animal feeding and feed legislation after the detection of the first indigenous BSE cases in Germany. Deutsche Tierarztliche Wochenschrift, 109(8), 362-367.

Kivelä, J., Chen, L., Muurinen, S., Kivijärvi, P., Hintikainen, V., & Helenius, J. (2015). Effects of meat bone meal as fertilizer on yield and quality of sugar beet and carrot. Agricultural and Food Science, 24(2), 68-83.

Klock, K. A., & Taber, H. G. (1996). Comparison of bone products for phosphorus availability. Hort Technology, 6(3), 257-260.

Miller, W. P., & Miller, D. M. (1987). A micro-pipette method for soil mechanical analysis. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 18(1), 1-15.

Nogalska, A., Czapla, J., Nogalski, Z., Skwierawska, M., & Kaszuba, M. (2012). The effect of increasing doses of meat and bone meal (MBM) on maize (*Zea mays* L.) grown for grain. Agricultural and Food Science, 21(4), 325-331.

Nogalska, A., & Zalewska, M. (2013). The effect of meat and bone meal on phosphorus concentrations in soil and crop plants. Plant, Soil and Environment, 59(12), 575-580.

Nogalska, A., Chen, L., Sienkiewicz, S., & Nogalski, Z. (2014). Meat and bone meal as nitrogen and phosphorus supplier to cereals and oilseed rape. Agricultural and Food Science, 23(1), 19-27.

Page, A. L. (1982). Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.

Pote D. H., Daniel, T. C., Moore, P. A., Nichols, D. J., Sharpley, A. N., & Edwards, D. R. (1996). Relating extractable soil phosphorus to phosphorus losses in runoff. Soil Science Society of America Journal, 60(3), 855-859.

Syers, J. K., Johnston, A. E., & Curtin, D. (2008). Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use: reconciling changing concepts of soil phosphorus behaviour with agronomic information. FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin 18. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

Valenzuela, H. R., Goo, T., Hamasaki, R. H., & Radovich, T. (2000). The effect of bone meal on the yield of jicama, *Pachyrhizus erosus*, in Oahu Hawaii. Proceedings of the Florida State Horticultural Society, 113, 222-226.

Wopenka, B., & Pasteris, J. D. (2005). A mineralogical perspective on the apatite in bone. Materials Science and Engineering: C, 25(2), 131-143.

Ylivainio, K., Uusitalo, R., & Turtola, E. (2008). Meat bone meal and fox manure as P sources for ryegrass (*Lolium multiflorum*) grown on a limed soil. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 81(3), 267-278.

Zia, M. S., Amin, R., Fazal-e-Qayum, & Aslam, M. (1988). Plant tissue concentration and uptake of phosphorus by maize as affected by levels of fertilization. Pakistan Journal of Agricultural Research, 9(3), 335-338.