Journal of the Korea Organic Resources Recycling Association, 25(1), pp.103-110 (2017)
ISSN 1225-6498 eISSN 2508-3015 https://doi.org/10.17137/korrae.2017.25.1.103

Original paper

수용성 탄수화물을 이용한 분뇨슬러리 pH 적정화 및 암모니아 휘산의 저감

임정수, 황옥화, 이상룡, 조성백, 곽정훈, 이동현, 정민웅, 한덕우†
국립축산과학원 축산환경과

Optimizated pH and Mitigated Ammonia Emission in Pig Manure Slurry by Soluble Carbohydrate Supplementation

Joung-Soo Lim, Ok-Hwa Hwang, Sang Ryong Lee, Sung-Back Cho, Jung-Hoon Kwag, Dong-Hyun Lee, Min Woong Jung, Deug-Woo Han†
Animal Environment Division, National Institute of Animal Science

(Received: Jan. 16, 2017 / Revised: Mar. 13, 2017 / Accepted: Mar. 13, 2017)

ABSTRACT: In Concentrated Animal Feeding Operations(CAFOs), emission of ammonia from stored manure contributes negatively on the wellness of livestock. In CAFOs facilities, indoor aerial ammonia concentration oftentime surpasses the critical level potentially harmful to livestock's immune system. Understandably, numerous researches to control aerial ammonia have been conducted in countries where CAFOs were practiced for many decades. Some innovative technologies, such as scrubber, bio-filter, and additives emerged, as a result. Among them, microbial additives became popular in Korea, due to an easiness of use and affordability. However, microbial additives still have some weaknesses. Their price is still high enough to discourage farmers who run a small scale farm and their effectiveness are still questioned by many users and researchers. In the present study, we found soluble carbohydrates, such as sugar, glucose, and molasses, when supplemented to pig slurry manure, can mitigate ammonia emission. To be more specific, pig manure slurry(120kg), stored in container(200L), was supplemented with sugar at 0.1%(w/w) and was, subsequently, monitored for pH and aerial ammonia for next 10 days. From this experiment, it was found that the sugar supplementation was effective in mitigating the aerial ammonia concentration (33% in average) when monitored daily. Also, the pH of manure slurry was maintained at relatively low level(8.2) in sugar-supplemented manure slurry while it was elevated to 8.5 in untreated slurry. Conclusively, the obtained data suggest that soluble carbohydrate can mitigate ammonia emission by acidifying manure slurry. Additionally, it can be suggested that soluble carbohydrates, such as sugar, glucose, and molasses, can be reasonable choices for animal farmers who have been looking for an alternative choice to replace expensive microbial additives.

Keywords: Animal manure slurry, ammonia, soluble carbohydrate, pH

† Corresponding Author (e-mail: dwhan@korea.kr)

초 록: 우리나라 양돈 농장 내 돈사의 대부분은 고밀도 사육에 적합한 피트형 구조를 가지고 있다. 피트형 돈사는 돼지의 배설물이 바닥의 공간에 장기간 저장되는 구조로서 기존의 돈사에 비해 분뇨 처리를 위한 노동비용이 크게 절감되는 장점이 있다. 그러나 피트에 저장된 분뇨슬러리는 암모니아를 비롯하여 다양한 냄새물질을 지속적으로 배출하여 돼지와 근로자의 건강을 위협하게 된다. 축산업의 역사가 오래된 축산 선진국에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 슬러리 첨가제, 스크러버, 바이오필터 등을 개발하였으며 우리나라 역시, 점차 고밀도 사육 방식이 확산됨에 따라 냄새저감 수단에 대한 수요가 빠르게 증가하고 있다. 특히 최근에는 돈사 피트에 직접 투여하는 미생물제의 보급이 빠르게 확대되고 있다. 미생물제는 구매 비용이 높다는 단점에도 불구하고 운반, 저장, 사용이 편리하고 상대적으로 유지비가 저렴하여 소규모 양돈 농가에서 많이 선택되고 있다. 이러한 미생물제와 비교하여 유사한 효과를 발휘하면서도 비용이 훨씬 저렴한 냄새저감 수단으로서 수용성 탄수화물이 있다. 수용성탄수화물이란 설탕, 포도당, 당밀과 같이 분자량이 적은 단당류 또는 이당류 등을 포함하며 분뇨슬러리에 용해된 이후 빠르게 미생물에 의해 이용될 수 있는 탄소화합물을 의미한다. 분뇨 내 미생물은 투여된 수용성 탄수화물을 분해하여 이산화탄소 및 각종 유기산을 생산함으로 슬러리를 산화시키는 효과를 발휘한다. 산화된 슬러리 내에서 비이온성인 암모니아는 이온성인 암모늄 이온으로 전환되어 휘발성을 잃게 된다. 본 연구에서 대표적인 수용성 탄수화물인 설탕을 돈분뇨 슬러리(120kg)에 0.1%(w/w) 투여함으로서 슬러리의 pH를 8.2 수준으로 유지하였고 암모니아의 휘발은 10일 평균 33% 저감하는 효과를 얻었다. 결론적으로 본 연구의 결과를 돈사 현장에서 활용한다면 미생물제에 비해 보다 저렴한 비용으로 피트 슬러리의 암모니아 휘발을 저감할 수 있을 것으로 예상된다.

주제어: 가축분뇨 슬러리, 암모니아, 수용성 탄수화물, pH

1. 서 론

축산업을 영위함에 있어서 가축분뇨로 인한 냄새 발생 그리고 이로 인한 주변 거주자들의 민원은 가장 어려우면서도 시급히 해결하여야 할 문제이다. 축산냄새의 발생 요인은 크게 가축, 축산 시설, 그리고, 경작지 살포 등이 있다. 이중 돈사 바닥, 슬러리 피트와 같은 축산시설에서 발생하는 냄새는 가축의 생산성 및 근로자 위생보건에 직접적인 영향을 미칠 수 있으므로 중요하게 다루어질 필요가 있다.[1] 특히 암모니아는 분뇨슬러리로부터 휘발하여 돈사 내부 공간에 상존하는데 10~15 ppm 이상의 수준에서 돼지의 면역기능을 약화시키는 것으로 알려져 있다.[2] 그 동안 축산 냄새 문제를 해결하기 위해 많은 연구들이 수행되었으며 첨가제를 활용하여 냄새를 저감하는 방법이 여럿 제시된 바 있다.[3] 이들 첨가제 중 일부는 분뇨 내 미생물을 약화시키거나 또는 반대로 미생물의 활성을 강화시키는 효과가 있다. Thymol, eucalyptol, carvacol과 같은 식물성 오일은 미생물의 활성을 억제하는 효과를 가진 것으로 알려져 있다.[4] 반면 미생물의 활성을 강화하기 위해 기능성 미생물을 투여하여 냄새 저감을 시도하기도 한다.[5] 우리나라의 경우, 돈사 피트 분뇨슬러리에서 휘발하는 냄새를 저감하기 위해 미생물을 사료에 첨가하거나 분뇨슬러리에 직접 살포하는 방법을 많이 이용하고 있다. 그러나 미생물제는 반복적인 투입이 필수적이어서 구입비용이 상당하고, 현장에서의 노동 비용도 무시하기 어려운 수준이다. 더불어 축산선진국인 유럽과 미국에서는 미생물 투여의 효과성에 대해 부정적인 의견이 많다.[3,6]

돈사 피트 슬러리에 살포할 수 있는 첨가제 중 미생물제와 유사한 효과를 가지며 구입비용이 저렴한 첨가제로서 수용성 탄수화물이 있다. 수용성 탄수화물이란 분자량이 적고 슬러리에 투여 시 미생물에 의해 신속히 이용되는 탄소화합물을 의미하며 포도당, 설탕, 당밀 등이 이에 해당된다. 탄수화물의 투입이 암모니아 휘발 저감에 효과적이라는 점은 이미 보고된 바 있는데, Hendriks와 Vrielink는 돈분에서의 암모니아 휘발을 억제하기 위해 밀가루와 감자녹말을 이용한 바 있고[7] Huang 등은 돈분에 미생물(*Lactobacillus plantarum*)을 처리할 시 미생물 단독으로 처리하는 것보다 탄수화물을 함께

(a) Pig manure slurry incubation setting (b) Headspace ammonia measurement

Fig. 1. Pig manure slurry was incubated in the presence of soluble carbohydrate and subsequently headspace ammonia and slurry pH were analyzed for the following 10 days.

투여하였을 때 냄새의 저감 효과가 더 우수했음을 입증하였다.[8] McCrory와 Hobbs는 미생물과 더불어 포도당을 투여하여 가축분뇨 슬러리의 pH를 8에서 6으로 저하시킨 바 있는데 특히 pH와 암모니아의 휘산 간의 관계에 주목하였다.[3] Westerman과 Heber 역시 낮은 pH는 암모니아의 휘발을 억제하는 효과가 있다고 보고하였는데 암모니아는 낮은 pH에서 이온화하여 휘발성이 낮은 암모늄으로 전환되기 때문이다.[9] 이러한 원리를 이용하여 유럽에서는 저장 중인 분뇨에 황산을 투입하여 암모니아 휘발을 제어하기도 한다.[10] 그러나 황산을 산화제로 사용할 경우 토양에 환원하는 과정에서 안정성 논란을 유발시킬 소지가 있다.[11] 만약 분뇨의 pH를 조절하고자 한다면 되도록 안정성이 입증된 물질을 사용함으로서 이러한 논란을 사전에 방지하는 것이 바람직하다. 본 연구에서는 수용성 탄수화물과 같이 안전성이 확보된 첨가제의 투여가 돈분뇨 슬러리에서 냄새물질인 암모니아의 휘발에 어떠한 영향을 미치는지 규명해 보았다.

2. 재료 및 방법

돈사 슬러리 피트와 유사한 조건을 만들기 위해 200L 규모의 배양조 8개를 설치하여 돈사 피트에서 채취한 돈분뇨 슬러리를 120kg 씩 투여한 후 11일간 배양하였다. 수용성 탄수화물의 암모니아 휘발 저감 효과를 검증하기 위해 배양시작 24시간 후 돈분뇨 슬러리에 수용성 탄수화물인 설탕 120g(슬러리량의 0.1%, w/w)을 투여하였으며 대조구에서는 처리 없이 배양하였다. 이후 24시간을 주기로 배양조 상부 가스 중 암모니아 농도, 그리고 슬러리의 pH 변화를 관찰하였다. 배양조의 뚜껑에 튜브를 설치한 후 가스검지관(Gastec 3La & 3M)을 연결하여 암모니아 농도를 측정하였다[Fig. 1]. 이후 뚜껑을 개방하여 온도를 측정한 후 배양조 당 5ml 정도의 시료를 채취하여 pH 분석을 실시하였다. 통계적인 분석을 위해 2-Factorial Repeated Measures ANOVA를 실시하였으며 individual comparison을 위해 Duncan's multiple range test를 이용하였고 두 개의 요인(시간, 처리) 중 처리의 효과만 시간 별로 alpha=0.05 수준에서 검증하였다.

3. 결과 및 고찰

배양조 내 암모니아 가스농도를 10일 동안 측정한 결과 대조구, 처리구 모두에서 암모니아 가스의 농도가 U-자 모양으로 변하였으나 처리구에서의 암모니아 농도가 더욱 낮은 수준으로 저하되었다. 수용성 탄수화물 처리 후 10일간의 배양기간 중 평균 암모니아 농도는 대조구에서 144.1mg/m^3 처리구에서 99.8mg/m^3로서 탄수화물 투여에 의한 저감 효과는 배양 시작 후 1~10일 평균 33%이었고 저감

율은 투여 후 8일차에 최대치인 46%에 도달하였다 [Fig. 2]. 배양기간 동안 슬러리의 pH를 측정한 결과 대조구의 경우 배양 첫날 8.2에서 지속적으로 상승하여 10일 째 8.5로 상승하였으며 처리구에서는 8일간 8.1로 하락한 후 10일째 8.25로 반등하였다 [Fig. 3]. 본 실험에서 수용성 탄수화물 처리 후 관찰된 현상으로서 슬러리 pH의 저하, 암모니아 휘발의 저감 이외에도 슬러리의 표면의 피막 형성이 촉진되었음을 발견하였다[Fig. 4]. 처리구의 경우, 처리 후 2~3일부터 피막의 형성이 시작되었고 4~6일에 가장 두껍게 형성되었으나 7~8일째부터는 일부 처리구에서 피막의 구조가 약해짐을 확인하였다. 대조구의 경우 역시 피막이 형성되었으나 처리구보다 피막이 늦게 형성되었으며(4~7일) 두께가 얇았다.

3.1. 분뇨슬러리의 pH 적정 수준 유지로 인한 효과

본 연구에서 미생물의 양분으로 이용될 수 있는 수용성 탄수화물을 분뇨슬러리에 투여할 경우 암모니아의 휘발이 저감됨을 확인하였다. 서론에서 언급한 바와 같이 수용성 탄수화물은 미생물에 의해 신속히 분해되며 이 과정에서 각종 유기산 및 이산화탄소가 발생하여 슬러리의 pH를 낮추게 된다. 암모니아는 낮은 pH에서 암모늄으로 이온화하여 휘산이 억제된다. 그러나 적정량 이상의 탄수화물을 한 번에 투여한다면 pH가 적정 수준 이하로 낮아지게 된다. 이럴 경우 암모니아보다 더욱 강력한 냄새물질인 저급휘발성지방산(Volatile Fatty Acid, VFA)의 휘발이 증가하게 된다.[12] 또한 지나친 산성화는 분뇨슬러리 내 미생물 활성을 억제하는 효과가 있다. Ottosen 등은 황산을 이용하여 돈사 피트 슬러리의 pH를 5.5로 내린 결과 슬러리 내 산소 소모율과 메탄 생성율이 98% 하락한 것을 보고하였다.[13] Huang 등은 돈분뇨에 *Lactobacillus*와 함께 다량의 수용성 탄수화물을 투여한 결과 pH가 4로 하락하였고 미생물 중 *Escherichia, Eubacteria, Clostridia* 등이 급격히 감소됨을 보고하였다.[8] 미생물 억제의 주요 원인은 산성 환경에서 증가하는 비이온성 VFA에 의한 효과로 알려져 있다. 비이온성 분자로 전환된 VFA는 미생물 세포막의 전위차를 uncoupling 함으로 미생물의 에너지 대사를 중지시킨다고 보고된 바 있다.[14] 외국의 경우 이러한 효과를 이용하여 분뇨를 산성화하여 저장성을 확보하기도 한다. 미생물 억제 효과가 있는 식물성오일

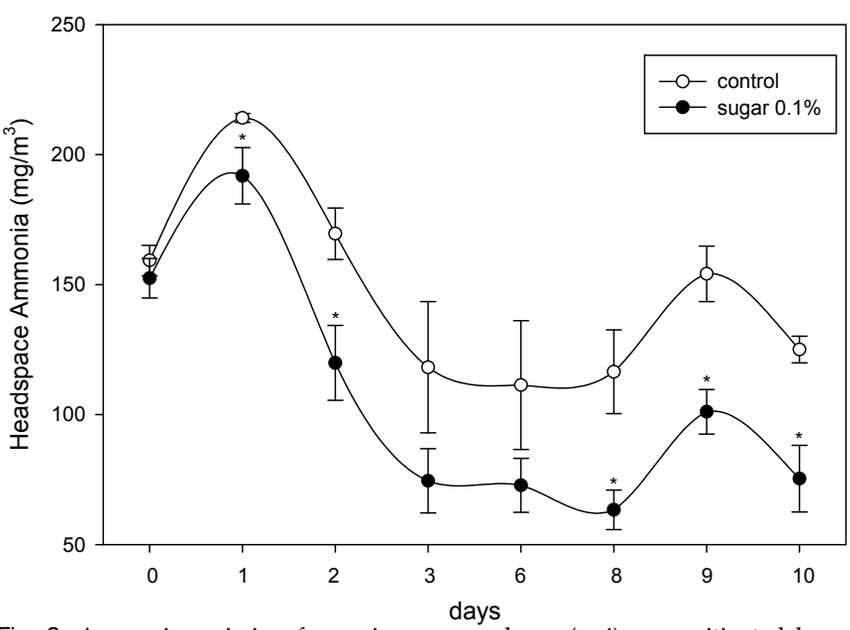

Fig. 2. Ammonia emission from pig manure slurry (n=4) was mitigated by a treatment of soluble carbohydrate (0.1% w/w).

* denote statistically significant differences(alpha=0.05)

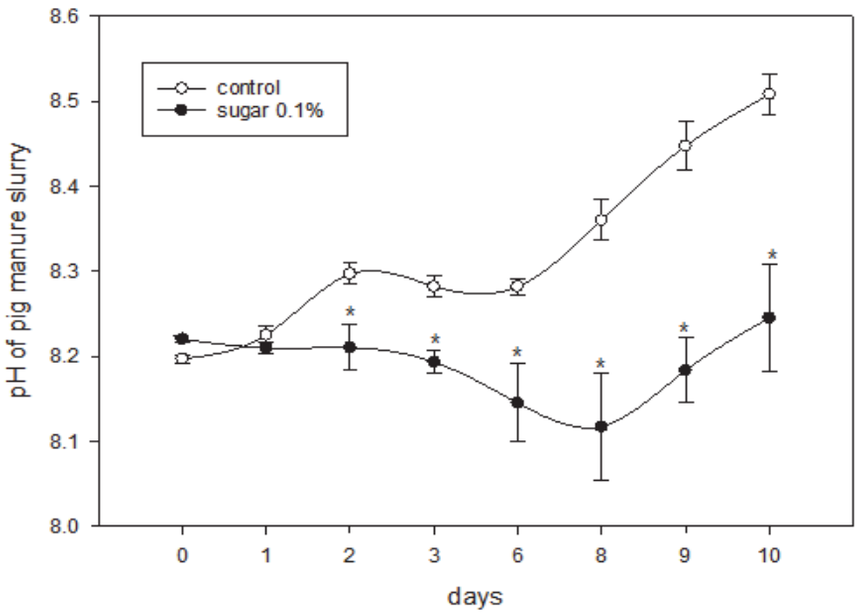

Fig. 3. pH of pig manure slurry was maintained near 8.2 when soluble carbohydrates were supplemented.

* denote statistically significant differences(alpha=0.05)

을 분뇨첨가제로 활용하는 것 역시 유사한 효과를 이용한 것이라 볼 수 있다.[4)]

3.2. 슬러리 표면 생물학적 피막 형성의 효과

본 연구에서 탄수화물의 공급으로 인해 슬러리 표면에 피막의 형성이 촉진됨을 확인하였다[Fig. 4]. 표면 피막 형성의 원인은 미생물의 작용에 기인한 것으로 추측되며 기존의 보고에 근거할 때 분뇨 슬러리 유래 냄새물질의 휘발을 억제할 수 있을 것으로 판단된다. Blanes-Vidal 등은 저장 슬러리를 유럽의 전통적인 방식대로 볏짚으로 피복할 경우 암모니아, 크레졸, 등의 냄새 물질 휘발이 크게 저감되나 VFA, 인돌, 디메틸설피드에는 별 영향이 없다고 보고하였다.[15)] Regmi 등은 저장 중인 분뇨에 폴리에틸렌 폼을 띄우면 황화합물과 냄새물질의 휘발이 크게 감소한다고 보고하였으나 암모니아 휘발에 대해서는 특별한 효과를 입증하지 못하였다.[16)]

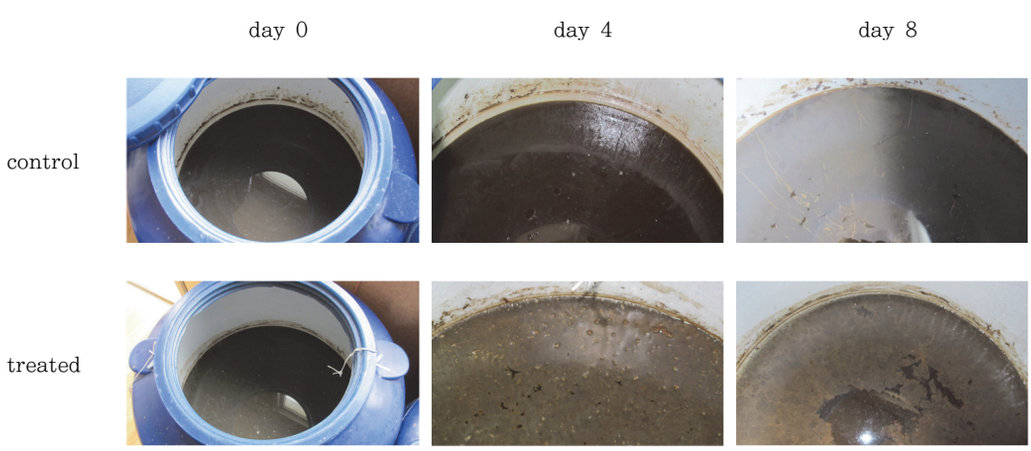

Fig. 4. Thicker coverings were formed on the surface of pig manure slurry incubated in the presence of soluble carbohydrate.

반면 Park 등은 미생물이 장착된 부유성 담체를 슬러리 표면에 띄웠더니 암모니아 휘발이 크게 저감됨을 확인하였다.[17] 이러한 보고들을 요약하면 방법에 따라 차이는 있으나 분뇨슬러리의 표면을 피복함으로서 냄새물질의 휘발을 저감시킬 수 있음이 분명하다. 기존에 연구된 구조물들(담체, 볏집, 스폰지)과 비교하여 본 실험에서 확인된 표면 피막은 몇 가지 장점이 있다. 가축분의 낙하로 인해 일시적으로 손상되더라도 유동성과 확장성으로 인해 쉽게 복구된다. 또한 피트 슬러리의 배출 시 배출 펌프를 손상시킬 가능성도 거의 없다. 슬러리 표면의 피막은 냄새 물질 휘발의 저감과 관련하여 추가적인 연구가 필요하다.

3.3. 축산현장에서의 수용성 탄수화물의 활용

수용성 탄수화물을 이용하여 분뇨슬러리 냄새를 저감하기 위해서는 적절한 프로토콜에 따라 투여하는 것이 매우 중요하다. 본 연구에서는 탄수화물을 소량(0.1% w/w) 투여함으로서 슬러리의 pH를 8.1~8.2로 유지할 수 있었으며 슬러리 표면의 생물학적 피막이 형성됨을 확인하였다. 언급한 바와 같이, 만약 이보다 높은 수준의 수용성 탄수화물을 일거에 투여한다면 pH가 급격히 저하되어 결과적으로 더욱 강한 냄새물질인 VFA의 휘발을 초래할 수 있다. 따라서 분뇨슬러리의 적정 pH를 유지하기 위해 탄수화물을 필요한 만큼 소량씩 자주 투여하는 것이 중요하다. 만약 몇 주간의 반복적 투여로 인해 슬러리의 pH가 충분히 낮아졌다면 탄수화물 투여량을 줄이거나 중지하는 것이 바람직하다. 현재까지 돈사에서의 냄새의 발생을 최소화하기 위한 적정 피트슬러리의 pH는 아직까지 보고된 바는 없으나 pH가 어느 수준 이상으로 상승하면 암모니아 휘발이 증가하고 반대로 pH가 너무 낮아지면 암모니아 휘발은 감소하나 대신 더욱 강력한 냄새물질인 VFA의 휘발이 증가한다. 따라서 냄새 저감을 위해 필요한 돈분뇨슬러리의 적정 pH란 중성의 pH(7~8) 영역이라고 할 수 있다.

냄새발생을 최소화하기 위한 돈사 피트 분뇨슬러리의 적정 pH는 계절과 돈사구조에 의해서도 달라질 수 있다. 여름은 높은 기온, 강한 환기, 그리고 돈사 개방으로 인해 냄새의 확산이 불가피한 계절이다. 즉 민원의 발생을 염려해야하는 계절이다. 이러한 계절적 특성으로 인해 여름에는 암모니아보다 VFA의 휘발을 염려하여야 한다. 이러한 경우 돈사 내 환경을 알카리 상태(높은 pH)로 유지함으로서 VFA의 휘발을 저감하는 것이 필요하다.

반면 초가을부터 봄까지는 저온, 부족한 환기, 호흡기질환 발병 가능성으로 인해 돼지의 건강을 우선적으로 고려하는 게 바람직하다. 이러한 상황에서는 공기 중 냄새 물질이 배출되지 못하고 돈사 내에 축척되며 특히 암모니아 농도가 상승하여 돼지의 호흡기 및 안구 점막을 자극하게 된다. 이러한 환경에서는 공기 중 암모니아를 수시로 점검하여 지나치게 높을 경우 돈사 내부 환경 특히 피트 슬러리를 산성으로 유지하여 암모니아 휘발을 저감하는 것이 바람직할 것이다. 슬러리 pH의 적정 수준 유지를 위해 수용성 탄수화물을 적극적으로 활용할 수 있는 계절이라고 할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서 수용성 탄수화물을 분뇨슬러리에 투여할 경우 암모니아의 휘발이 저감됨을 확인하였다. 수용성 탄수화물은 설탕, 포도당 등의 분자량이 적은 탄수화물로서 슬러리에 투여 시 미생물에 의해 유기산, 이산화탄소로 분해되어 슬러리의 pH를 낮추게 된다. 이러한 조건에서 암모니아는 이온화하여 암모늄으로 전환되며 결과적으로 휘산은 감소하게 된다.

양돈 농가 현장에서 수용성 탄수화물을 이용하여 돈사 공기 중 암모니아 농도를 저감하는 방법을 요약한다면 (1) 슬러리 부피 대비 0.1%(w/v)를 1회 투여량으로 하고 사용 빈도는 주 1회가 적절할 것으로 판단된다. 단 투여 전 슬러리의 pH를 측정하여 8 이하로 나타나면 투여량을 절반(0.05%, w/v)으로 줄이고 7.2 이하로 나타나면 투여하지 않는 것이 바람직하다. (2) 사용상 유의해야 할 점은 소량을 빈번히 투여하고 수시로 슬러리의 pH를 확인하는 것이다. (3) 개방형 돈사의 경우, 돈사가 개방되는 여

름에는 사용을 지양하고 돈사가 차폐되는 시기에 사용하는 것이 바람직하다. (4) 탄수화물은 돈사 바닥에 살포할 경우 돼지가 섭취하게 되므로 가급적 피트 슬러리에 직접 투여한다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(세부과제명: 돈사 내 냄새발생 원인물질 분석 및 냄새 제어 기술 개발, 세부과제번호: PJ01169401)의 지원에 의해 이루어진 것임.

References

1. Schiffman, S. S. and Williams, C. M., "Science of odor as a potential health issue". Am. Soc. of Agronomy. 34(1), pp. 129-138. (2004).
2. Jones, J. B., Wathes, C. M., and Webster, A. J. F., "Behavioral response of pigs to atmospheric ammonia". Proc. Fifth International Symposium on Livestock Environment. pp. 875-882. (1997).
3. McCrory, D. F. and Hobbs, P. J., "Additives to reduce ammonia and odor emission from livestock wastes: A review". J. Environ. Qual. 30, pp. 345-355. (2001).
4. O'Bryan, C. A., Pendieton, S. J., Crandall, P. G., and Ricke, S. C., "Potential of plant essential oils and their components in animal agriculture - *in vitro* studies on antibacterial mode of action". Front. Vet. Sci. 2(35), pp. 1-8. (2015).
5. Alam, Md. J. "Application of natural additives on odor reduction and growth performance in swine production". A Dissertation for Ph.D. Sunchon National University. (2011).
6. Zhu, J. "A review of microbiology in swine manure odor control". Agri. Ecosys. Environ. 78, pp. 93-106. (2000).
7. Hendriks, J. G. L. and Vrielink, M. G. M. "Reducing the emission from pig houses by adding or producing organic acids in pig slurry". In. Proc. of the Int. Symp. on Ammonia and Odour Emissions from Animal Production, Vinkeloord, the Netherlands. 6-10 Oct., pp 493-501. (1997).
8. Huang, C., Li, J., Kang, W.-L., Tang, X.-Y., "Effect of adding *Lactobacillus plantarum* and soluble carbohydrates to swine manure on odorous compounds, chemical composition and indigenous flora". J. Environ. Sci. 18(1), pp. 201-206. (2006).
9. Argo, J., Westerman, P. W., and Heber, A. J., "A review of ammonium emissions from confined swine feeding operations". Trans. ASAE. 46, pp. 805-817. (2003).
10. DeLaune, P. B., Moore, P. A. Jr., Daniel, T. C., and Lemunyon, J. L., "Effects of chemical and microbial amendments on ammonia volatilization from composting poultry litter". J. Environ Qual. 33(2), pp. 728-734. (2004).
11. Hendriks, J. G. L. and Vrielink, M. G. M., "Reducing ammonia emissions from pig houses by adding or producing organic acids in pig slurry. Proc. International Symposium on ammonia and odor emissions from animal production: The Dutch society of agricultural engineering. pp 493-501. (1997).
12. Conn, K. L., Tenuta, M., and Lazarovits, G., "Liquid swine manure can kill *Verticillium dahliae* microsclerotia in soil by volatile fatty acid, nitrous acid, and ammonia toxicity". Phytopathology. 95, pp. 28-35. (2005).
13. Ottosen, L. D. M., Poulsen, H., Nielsen, D. A., Finster, K., Nielson, L. P., and Revsbech, N. P., "Observations on microbial activity in acidified pig slurry". Biosys. Engineering. 102, pp. 291-297. (2009).
14. Playne, M. J. and Smith, B. R., "Toxicity of organic extraction reagent to anaerobic bacteria". Biotech. Bioengineering. 25(5), pp. 1251-1265. (1983).
15. Blanes-Vidal V., Hansen, M. N., and Sousa, P., "Reduction of odor and odorant emissions from slurry stores by means of straw covers" J. Environ. Qual. 38(4), pp. 1518-1527. (2009).

16. Regmi, S., Ongwandee M., Morrison, G., Fitch, M., and Surampalli, R., "Effectiveness of porous covers for control of ammonia, reduced sulfur compounds, total hydrocarbons, selected volatile organic compounds, total hydrocarbons, selected volatile organic compounds, and odor from hog manure storage lagoons". J. Air Waste Mange. Associa. 57, pp. 761-768. (2007).
17. Park, J., Lee, S. R., Han, J. K., and Nam, K., "Mitigation of ammonia and hydrogen sulfide emissions by stable aqueous form-microbial media". Environ. Sci. Technol. 40(9), pp. 3030-3035. (2006).