Research article

왕겨탄화물 투입이 양돈농가 퇴비사 냄새강도에 미치는 영향

한덕우¹ · 이동현² · 김창한³ · 유동조⁴ · 박대권⁵ · 서시영¹ · 우샘이¹ · 장유나¹ · 황옥화¹ · 정민웅^{4*}

¹국립축산과학원 축산환경과 농업연구사, ²농촌진흥청 디지털농업추진단 농업연구사, ³국립축산과학원 기술지원과 농촌지도사,
⁴국립축산과학원 축산환경과 농업연구관, ⁵(주)유기산업 대표

Effects of rice hull bio-char supplementation on the odor strength in the pig manure composting facilities

Deug-Woo Han¹, Dong-Hyun Lee², Changhan Kim³, Dongjo Yu⁴, Dae Kwon Park⁵, Si Young Seo¹, Saem-Ee Woo¹, Yu Na Jang¹, Okhwa Hwang¹, Min Woong Jung^{4*}

¹Researcher, Animal Environment Division, National Institute of Animal Science, RDA, 1500 Kongjwipatjwi-ro, Iseo-myeon, Wanju-gun, Jeollabuk-do, 55365, Republic of Korea

²Researcher, Bureau of Digital Agriculture, RDA, 300 Nongsaengmyeong-ro, Deokjin-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do, 54875, Republic of Korea

³Extension Specialist, Technology Services Division, National Institute of Animal Science, RDA, 1500 Kongjwipatjwi-ro, Iseo-myeon, Wanju-gun, Jeollabuk-do, 55365, Republic of Korea

⁴Senior Researcher, Animal Environment Division, National Institute of Animal Science, RDA, 1500 Kongjwipatjwi-ro, Iseo-myeon, Wanju-gun, Jeollabuk-do, 55365, Republic of Korea

⁵CEO, Yougi Ind, Chungdeung-gil 18, Buan-myeon, Gochang-gun, Jeollabuk-do, 56416, Republic of Korea

Corresponding author

Min Woong Jung
National Institute of Animal Science,
RDA, 1500 Kongjwipatjwi-ro,
Iseo-myeon, Wanju-gun, Jeollabuk-do,
55365, Republic of Korea
Tel : +82-63-238-7411
Fax : +82-63-238-7447
E-mail : mwjung@korea.kr

Received : May 7, 2021

Revised : June 16, 2021

Accepted : June 18, 2021

In this study, odor mitigating effect of rice hull bio-char was evaluated using pig manure compost as a source of odor. Two odor strength indicators, complex odor and odor activity value were analysed in pig manure composting facilities at two time points, before and after rice hull bio-char (5% v/v) supplementation. When mitigating effects were evaluated, it was found that odor strength indicators, both complex odor and odor activity value (OAV) were decreased by 50% at least, within 2~3 weeks after treatment in all tested composting facilities. The mechanism of odor mitigation is still unclear, but, based on published articles, it can be assumed that carbonic adsorption and activation of microbial metabolism are the major contributors for the effect. Recent investigation on the hypothetic mechanism called Direct Interspecies Electron Transfer (DIET) suggest a weak electric conductivity on carbonic molecules might play a key role for the microbial activation.

Key words : Pig, Odor, Rice hull bio-char, VFA

서론

양돈 농장의 운영에 있어 냄새로 인한 민원은 반드시 해결하여야 할 난제이다. 그동안 축산냄새 저감을 위한 많은 노력들이 있었으며 그 결과 괄목할 만한 연구 성과도 있었으나 현장의 관리자의 입장에서 볼 때 냄새는 여전히 해결이 요원한 난제로 남아 있다. 축산냄새 해결의 첫 단계는

냄새의 원인을 요인 별로 구분하는 것이며 두 번째는 각각의 요인 별 해결 방안을 강구하는 것이라 할 수 있다. 그동안 수행된 연구들을 되짚어보면 냄새의 요인 중 가축 사육 시설에서 배출되는 냄새의 관리에 대해 지나치게 집중된 경향이 있었음을 부정할 수 없다. 사육시설 외에도 가축분뇨 처리시설, 퇴액비 농경지 살포 등은 축산 냄새 민원을

유발하는 중요한 요인들로 거론될 수 있다. 본 연구에서는 양돈분뇨 처리시설 중 퇴비화시설에서 유래하는 냄새를 저감하기 위한 현실적 방안을 모색해 보았다. 특히 퇴비 유래 냄새를 저감하는 방안으로서 퇴비에 탄화물과 같은 첨가제를 투입하여 냄새의 발생 자체를 차단하는 방안을 검증해 보았다. 퇴비 자체의 냄새를 저감함으로써 퇴비사 내부공간의 냄새를 저감할 수 있을 뿐 아니라 퇴비 농경지 살포 과정에서 발생하는 냄새도 저감하는 효과를 얻을 수 있을 것이다. 기존의 연구 결과를 살펴보면 탄화물은 흡착과 같은 방법으로 냄새물질을 제거하게 된다. Hwang et al. (2018)에 따르면 바이오차를 이용하여 돈분뇨 슬러리 유래 냄새를 저감시킬 수 있으며 이는 흡착에 의한 결과라고 보고된 바 있다. 반면 Awasthi et al. (2018)은 탄화물이 분뇨 내의 휘발성지방산을 비롯한 냄새물질의 농도를 크게 저감시키는 효과가 있으며 그 원인은 분뇨 내 양분의 격리에 따른 제한 효과 (Hagemann et al., 2017) 및 미생물의 군집 다양화 (Mao et al., 2018)에 따른 것으로 설명하고 있다. 본 연구에서는 탄화물 중에서도 공급 및 가공이 용이하고, 가격이 저렴한 왕겨탄화물을 양돈농가 퇴비사 퇴비에 투입하였을 때 냄새 강도에 미치는 영향을 검증해보았다.

재료 및 방법

1. 양돈농가 퇴비사 왕겨탄화물 투입

본 연구의 수행을 위해 적합한 조건을 갖춘 양돈농가 퇴비사 3곳을 확보하였다. 확보된 퇴비사들은 비교적 밀폐도가 높아 외부의 영향이 적으며 돈사나 고액분리시설과 일정거리를 두고 위치해 있으며 단순퇴적식의 퇴비화를 수행하는 특징을 갖춘 곳들이다 (Figure 1).

Figure 1. Rice hull bio-char was spread on the pig manure compost to mitigate odor strength.

(1) 퇴비량 산정 및 왕겨탄화물의 투입

퇴비사 내부에 축적된 퇴비의 량 (부피)을 추정하기 위해 퇴비의 모양을 누운 삼각기둥의 형태로 만든 후 길이, 높이, 폭을 측정하여 체적 계산 공식에 적용하였다(부피 = 길이×높이×폭 / 2). 본 연구에서 농가 별 돈분 퇴비의 추정 체적은 각각 42.9 m³, 377 m³, 10 m³이었으며 산출된 퇴비 부피에 근거하여 퇴비사 별로 투입할 왕겨탄화물의 량 (5% (v/v))을 산정하였다. 실험에 사용된 왕겨탄화물 (유기왕겨숯, 유기산업)은 유기농자재로 판매되는 100 L 단위의 제품으로서 왕겨만을 원료로 제조되었다. 제조사 자료에 따르면 사용된 왕겨탄화물의 수분함량은 14.31%, 회분은 5.76%이었으며 원소함량은, 탄소 57.13%, 수소 4.86%, 산소 31.14%, 질소 1.02% 이었다. 왕겨탄화물 투입은 퇴비 위에 피복하는 방식으로 이루어졌으며 이후 퇴비의 교반은 농장주가 원하는 시간에 직접 수행하였다.

2. 퇴비사 냄새강도의 측정

왕겨탄화물 투입에 따른 퇴비사 내부 냄새 강도의 변화를 추정하기 위해 (1)복합악취와 (2)냄새물질농도에 근거한 냄새활동도를 측정하였다.

(1) 냄새강도 추정을 위한 냄새 시료의 포집

왕겨탄화물 투입 전날 (실험 1일째) 퇴비사 내부 냄새강도 추정을 위한 공기시료 채취를 6회 실시하였으며 (10시, 11시, 12시, 14시, 15시, 16시). 또한 왕겨탄화물 살포 당일 (실험 2일째)에도 동일한 방식으로 시료를 6회 채집하였다. 왕겨탄화물의 살포는 실험 2일째 12시에 공기시료 포집 수행 직후 실시하였다. 왕겨탄화물 살포가 완료된 이후, 농장주에 요청하여 1주일 이내에 퇴비의 교반을 실시하였

으며 실험기간동안 추가적으로 반입되는 가축분뇨 고상에도 5%의 왕겨탄화물을 투입하였다. 퇴비의 교반이 이루어진 이후 2~3주 이상 지난 시점에서 최종적으로 2~3회 냄새 측정을 수행하여 왕겨탄화물의 효과를 검증하였다.

(2) 복합악취의 측정

복합악취의 추정을 위해 퇴비사 내부 공기를 포집하여 전문기관 ((재)시흥녹색환경지원센터)에 복합악취 분석을 의뢰하였다. 공기시료 채취 방법은 퇴비더미에서 1.5 m 떨어진 위치에서 음압상자와 알루미늄폴리에스터 재질의 샘플링 백(10 L)을 이용하여 공기시료를 포집하였으며 포집 후, 48시간 이내에 시료의 운반 및 복합악취 분석을 완료하였다. 복합악취의 분석은 공기희석관능법 (악취공정시험법, 환경부)에 따라 수행하였다.

(3) 냄새물질 농도의 측정

축산냄새의 주요 원인으로 알려진 15종의 물질의 농도를 측정하였다. 본 연구에서 분석된 냄새물질은 질소계 1종 (암모니아), 휘발성지방산 6종 (아세트산, 프로피온산, n-부틸산, n-발레르산, i-부틸산, i-발레르산), 황화합물 4종 (황화수소, 메틸메르캅탄, 디메틸설파이드, 디메틸디설파이드), 휘발성유기화합물 4종 (페놀, 파라크레졸, 인돌, 스케톨)이었다 (Figure 2). 이들 휘발성지방산 6종, 인돌페놀류 4종의 측정을 위한 분석은 국내·외 선행 연구 (Zhang et al., 2010; Trabue et al., 2011; Shin et al., 2016)에 제시된 방법을 참고하여 수행하였다. 시료의 포집을 위해서는 Tenex-TA 흡착튜브 (Markes Inc.)를 사용하였다. 흡착튜브

는 정량음압펌프 (Sibata MP-Sigma 30 KN2)에 연결하여 사용되었고 냄새물질 포집 시 흡기속도는 분당 100 mL, 공기포집량은 1,000 mL이었다. 흡착튜브에 포집된 냄새물질 분석은 TD-GC-FID (Markes Unity2, Varian Inc.)을 이용하여 수행하였다. 열탈착시스템 (Thermal desorption system)을 이용하여 냄새 시료를 가스화한 후 가스크로마토그래피컬럼 (DB-Wax column, 30 m, 0.25 mm, 0.25 μ m)으로 전달하였다. 냄새물질의 분리를 위해 컬럼의 온도를 40°C에서 150°C까지는 10°C/min으로, 이후, 230°C까지는 18°C/min의 속도로 승온 하였다. 사용된 흡착튜브는 335°C에서 4시간동안 컨디셔닝 하였으며 재사용 전 동일한 조건으로 2차 컨디셔닝을 실시하였다.

황화합물 4종의 분석을 위한 공기시료는 복합악취와 마찬가지로 알루미늄 재질의 샘플링백 (10 L)을 이용하여 포집하였으며 악취공정시험기준에 따라 저온농축관을 지닌 열탈착시스템 (TD)을 통해 GC-PFPD (CP-Sil 5CB column, 60 m, 0.32 mm, 5 μ m)에 주입하였다. 가스크로마토그래피 내부 오븐 온도는 3분동안 60°C로 유지한 후 160°C까지 8°C/min으로 승온시켰으며 160°C에서 9분 간 유지하였다.

(4) 냄새활동도의 산정

본 연구에서는 냄새강도를 평가하기 위한 지표로서 복합악취와 더불어 냄새활동도 (Odor Activity Value; OAV)를 활용하였다. 냄새활동도란 기기분석을 이용해 측정된 냄새물질의 농도를 물질 고유의 최소감지농도로 나누어 줌으로서 냄새에 근거하여 냄새활동도를 계산하였다. 냄새활동도 계산에 필요한 냄새물질 고유의 최소감지농도

Figure 2. Mitigation of odor strength in three pig manure composting facilities after rice hull bio-char supplementation.

Table 1. Odor Activity Value (OAV) calculation formula.

Calculation formula	
Odor Activity Value (OAV)	= Concentration of the odor compound / Odor threshold (OT) [†] of the odor compound
OAV-VFA-6	= Concentration of acetic acid / 6 + Concentration of propionic acid / 5.7 + Concentration of iso-butyric acid / 1.5 + Concentration of butyric acid / 0.19 + Concentration of iso-valeric acid / 0.078 + Concentration of valeric acid / 0.037
OAV-VOC-4	= Concentration of phenol / 5.6 + Concentration of para-cresol / 0.054 + Concentration of indole / 0.3 + Concentration of skatole / 0.0056
OAV-Sulfur-4	= Concentration of hydrogen sulfide / 0.41 + Concentration of methyl mercaptan / 0.07 + Concentration of dimethyl sulfide / 3 + Concentration of dimethyl disulfide / 2.2
OAV-ammonia	= Concentration of ammonia / 1500
OAV-15	= OAV-VFA-6 + OAV-VOC-4 + OAV-sulfur-4 + OAV-ammonia

[†]Nagata (2003).

Table 2. Mitigation of odor strength in three pig manure composting facilities after rice hull bio-char supplementation (AVG +/- SD (n = 3)).

	Before supplementation	After supplementation (4hr)	After supplementation (2~3weeks)	Average mitigation [†] (%)
Complex odor (OU/m ³)	483.44 +/- 302.82	451.78 +/- 274.72	93.11 +/- 72.25	80
OAV	2645.77 +/- 1767.68	1936.46 +/- 1777.70	465.14 +/- 369.89	82

[†]Before supplementation vs. After supplementation (2~3 weeks).

는 문화적 인증적으로 우리나라와 가장 유사한 일본의 값 (Nagata, 2003)을 사용하였으며 냄새물질 15종 각각의 냄새활동도를 합하여 냄새활동도-15 (OAV-15)를 산정하였다 (Table 1).

결과 및 고찰

왕겨탄화물의 가축분뇨 퇴비 냄새 저감 효과를 평가하기 위해 왕겨탄화물 투입 전후 퇴비사 냄새의 강도를 비교하였다. 냄새 강도의 지표로서 후각을 이용한 복합악취, 기기분석을 이용한 냄새활동도를 활용하였다. 왕겨탄화물의 투입 및 퇴비 교반이 이루어진 후 2~3주 경과된 시점에서 2가지 냄새 강도 지표가 모두 크게 하락하였다 (Table 2). 왕겨탄화물 투입의 영향으로 복합악취는 80% 저감되었으며 냄새활동도는 82% 저감율을 나타냈다. 관련 문헌에 근거해볼 때 가축분뇨 퇴비 냄새 저감 효과의 원인은 탄화물에 의한 냄새 물질 흡착 (Hwang et al., 2018) 및 퇴비 내 미생물 활성화에 따른 휘발성유기물질의 빠른 분해 (Awasthi et al., 2018; Sanchez-Monedero et al., 2019), 암모니아 휘산의 저감 (Agyarko-Mintah et al., 2017)일 것으로 추정된다. 탄화물 투입이 가축분뇨 퇴비화에 미치는 영

향과 관련하여 최근 10년간 많은 연구가 이루어진 바 있다 (Wong et al., 2018). 가장 최근 연구에 따르면 탄소물질인 활성탄, 바이오차 등은 약한 전기전도성을 띄고 있으며 이러한 성질은 미생물들 간의 전자 교환을 원활하게 하는 가교 역할 (Direct Interspecies Electron Transfer)을 발휘하게 되고 결과적으로 이들 미생물들의 대사를 촉진하게 된다고 하였다 (Zhang et al., 2017). 이러한 탄화물과 미생물 간의 상호작용이 실제로 가축분뇨 퇴비 냄새물질의 저감에 기여하는지는 추가적인 연구를 통해 검증할 필요가 있다.

결론

본 연구에서 왕겨탄화물 투입에 따른 양돈농가 퇴비사 냄새 저감 효과를 평가한 결과, 살포 2~3주 이후 퇴비사 내부에서 2가지 냄새지표 (복합악취, 냄새활동도)가 뚜렷이 저감됨을 확인하였다. 장래에 왕겨탄화물을 이용한 퇴비 유래 냄새의 저감은 양돈농가의 냄새 민원 해소에 기여할 수 있을 뿐 아니라 농경지 퇴비 살포 시 발생하는 냄새의 저감에도 일조할 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 시험연구사업 (과제번호: PJ01594 12021)의 지원에 의해 이루어진 것임.

인용문헌

- Agyarko-Mintah, E., Cowie, A., Zwieten, L., Singh, B.P., Smilie, R., Harden, S., Fornasier, F., 2017. Biochar lowers ammonia emission and improves nitrogen retention in poultry litter composting. *Waste Management*, 61, 129-137.
- Awasthi, M.K., Awasthi, S.K., Wang, Q., Wang, Z., Lahori, A.H., Ren, X., Chen, H., Wang, M., Zhao, J., 2018. Influence of biochar on volatile fatty acids accumulation and microbial community succession during biosolids composting. *Bioresource Technology*, 251, 158-164.
- Hagemann, N., Kammann, C., Schmidt, H.-P., Kappler, A., Behrens, S., 2017. Nitrate capture and slow release in biochar amended compost and soil. *PLOS one*, 0171214.
- Hwang, O., Lee, S.-R., Cho, S., Ro, K.S., Mindy, S., Woodbury, B., Silva, P.J., Han, D.-W., Choi, H., Kim, K.-Y., Jung, M.-W., 2018. Efficacy of different biochars in removing odorous volatile organic compounds (VOCs) emitted from swine manure. *Sustainable Chemistry and Engineering*, 6, 14239-14247.
- Mao, H., Lv, Z., Sun, H., Li, R., Zhai, B., Wang, Z., Awasthi, M.K., Wang, Q., Zhou, L., 2018. Improvement of biochar and bacterial powder addition on gaseous emission and bacterial community in pig manure compost. *Bioresource Technology*, 258, 195-202.
- Nagata, Y., 2003. Measurement of odor threshold by triangle odor bag method. *Odor Measurement Review*. Ministry of Environment, Japan, 118-127.
- Sanchez-Monedero, M.A., Sanchez-Garcia, M., 2019. Biochar reduces volatile organic compounds generated during chicken manure composting. *Bioresource Technology*, 288, 121584.
- Shin, H.S., Chae, J.S., Han, J.S., Park, S.S., Jeon, J.M., 2016. Study on sampling methods and emission characteristics of odor in swine and cattle facilities. *Journal of Odor and Indoor Environment*, 15(4) 352-367.
- Trabue, S., Kerr, B., Bearson, B., Ziemer, C., 2011. Swine odor analyzed by odor panels and chemical techniques. *Journal of Environmental Quality*, 40(5), 1510-1520.
- Wong, S., Ngadi, N., Inuwa, I.M., Hassan, O., 2018. Recent advances in applications of activated carbon from biowaste for wastewater treatment: A short review. *Journal of Clean Production*, 175, 361-375.
- Zhang, J., Mao, L., Zhang, L., Loh, K.-C., Dai, Y., Tong, Y.W., 2017. Metagenomic insight into the microbial networks and metabolic mechanism in anaerobic digesters for food waste by incorporating activated carbon. *Scientific Reports*, 7, 11293.
- Zhang, S., Cai, L., Koziel, J.A., Hoff, S.J., Schmidt, D.R., Clanton, C.J., Jacobson, L.D., Parker, D.B., Heber, A.J., 2010. Field air sampling and simultaneous chemical and sensory analysis of livestock odorants with sorbent tubes and GC-MS/olfactometry. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 146(2), 427-432.