

ANIMAL

Differences in fine dust emissions based on bedding type and quantity in horse stables

Ji Hyun Yoo^{1,2,*}, Jong An Lee¹, Jae Young Choi¹, Sang Min Shin¹, Hyeon Ah Kim¹, Mi Young Won¹, Yong Jun Kang¹, Hee Chung Ji¹, In Cheol Cho¹, Jin Hyoung Kim¹

¹Subtropical Livestock Research Institute, National Institute of Animal Science, Rural Development Administration, Jeju 63242, Korea

²Division of Animal and Dairy Science, College of Agriculture and Life Sciences, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

*Corresponding author: yoojihyun1@korea.kr

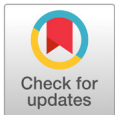
Abstract

Efforts for developing the domestic horse industry in South Korea are evident through the various national policies. Proper management of stables for ensuring the health of horses is essential to sustain the growing equine industry. This study aimed to measure the fine dust emissions in stables based on the type and quantity of bedding used for horses, for establishing guidelines pertaining to bedding use in stables. The stables accommodated 12 horses. Sawdust, wood shavings, wood pellet, and straw were chosen as treatments. Three different quantities (approximately 3, 6, and 9 cm in height) were applied for each type. Fine dust measurements were carried out at three time points, with each measuring period lasting for approximately three weeks. Measurements included PM_{2.5} and PM₁₀ fine dust levels. The initial analysis revealed that, sawdust with 9 cm bedding had the highest dust levels; approximately 54.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, for PM_{2.5} and 95.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, for PM₁₀. Sawdust bedding at the highest quantity (9 cm) exhibited significantly higher initial fine dust emissions. These findings suggest that bedding materials with smaller particle size, such as sawdust and wood shavings, tend to produce finer dust. Initially, the fine dust emissions decreased in all bedding types and quantities, possibly due to the increased moisture content of bedding owing to horse manure production. However, emissions increased subsequently due to ammonia production.

Keywords: beddings, fine dust, horse, stable

Introduction

말 산업 육성 5개년 계획 등 여러 국가 정책 등을 통해 국내 말 산업을 육성하기 위한 지속적인 노력이 이루어지고 있다. 그 결과로 COVID-19 pandemic 이전인 2019년에는 총 말 사육 두수가 약 27,246 두이고, 산업 규모가 약 34,125 억원으로 조사되는 등 상당한 규모까지 성장한 상태라고 볼 수 있다(KRA, 2020). 이렇게 성장중인 말 산업을 지속적으로 육성하기 위해서는 말 개체들의 건강 유지를 위한 적절한 관리에 대해서 관심을 갖는 것이 중요하다고 할



OPEN ACCESS

Citation: Yoo JH, Lee JA, Choi JY, Shin SM, Kim HA, Won MY, Kang YJ, Ji HC, Cho IC, Kim JH. Differences of fine dust emissions based on bedding types and quantities in horse stables. Korean Journal of Agricultural Science 50:917-925. <https://doi.org/10.7744/kjoas.500426>

Received: September 27, 2023

Revised: November 24, 2023

Accepted: November 27, 2023

Copyright: © 2023 Korean Journal of Agricultural Science



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

수 있다.

미세먼지는 입자의 직경이 10 μm 이하의 먼지들을 말하는데 10 μm 이하의 먼지는 PM10, 2.5 μm 이하의 먼지는 PM2.5로 표시한다. 최근 공중 보건 및 위생에 대한 관심이 늘어나고 산업화에 따른 대기오염으로 인한 각종 문제에 많은 사람들의 관심이 증가하고 있으며 다양한 관련 연구도 수행되었다. 미세먼지의 유해성에 대해 다양한 보고가 있었는데, 초 미세먼지의 경우 작은 입자 크기로 인해 일반 미세먼지 보다 세포 안으로 쉽게 들어갈 수 있어 호흡기로 들어온 초 미세먼지가 심혈관계 및 소화계 등의 다른 조직에까지 영향을 미칠 수 있다고 알려져 있다. 그리고 가장 일반적으로 알려져 있는 유해적인 요인은 oxidative stress로 인한 세포독성이다. 이러한 유해성 등을 고려하여 한국의 경우 2018년도부터 초 미세먼지의 연평균 기준을 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 일평균 기준을 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 설정하는 등 여러 관리 대책을 마련하고 있다(Choi et al., 2020; Lee et al., 2020).

말은 일반적인 가축들과 달리 승마 혹은 경마 등 레저 스포츠에 활용되고, 다년간 사육 및 활용되기 때문에 개체들을 건강하게 관리해주는 것이 중요하다. 말 사육에서 깔짚의 사용은 안락함을 제공하고 건강을 관리하기 위해 매우 중요하다. 미세먼지는 사람뿐만 아니라 동물에게도 좋지 않은 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 마사에서 깔짚 등에 의해 발생하는 먼지는 박테리아 등 미생물에 의한 말의 호흡기 손상과 같은 부정적인 영향을 줄 수 있다고 알려져 있다. 이와 관련하여 마사에서 사육되는 말에게 발생할 수 있는 주요한 문제는 만성폐쇄성폐질환(chronic obstructive pulmonary disease)이다. 환기가 제대로 이루어 지지 않는 마사의 사육 환경에서 먼지 등에 많이 노출되는 말에게 발생하는 호흡기 질환이다. 이러한 이유로 마사의 좋지 않은 환경으로 인한 호흡기 질환은 말 개체의 능력과 운동 부하를 떨어뜨릴 수 있다(Tanner et al., 1998a; 1998b; Aarnink and Ellen, 2008; Kwiatkowska-Stenzel et al., 2017).

일반적으로 말을 사육할 때 마사 내에 톱밥을 깔짚으로 사용하는 경우가 많으나 깔짚의 종류나 사용량에 대한 정확한 국내 기준은 미비한 실정이라고 볼 수 있다. 반면 우사에서 소를 사육하는 경우에는 일부 깔짚 사용에 대한 연구가 수행된 바 있다. Kang 등(1995)은 소의 분뇨와 혼합한 건조 톱밥을 한우사에 재활용할 때 적절한 사용량에 대한 연구를 보고한 바 있다. 보고에 따르면 깔짚의 가장 적절한 사용량은 4 cm 수준이라고 하였고 이 경우 약 38 일정도 사용가능하다고 하였다(Kang et al., 1995). 이처럼 소와 관련된 연구는 일부 있으나 말과 관련된 국내 연구 및 기준 설정은 미비하며, 소와 말은 분뇨 특성, 행동 양식 등이 달라 단순한 적용이 어렵기 때문에 마사에서의 깔짚 사용과 관련된 연구가 필요하다고 사료된다.

따라서 본 연구에서는 마사에서 말을 사육하는 기간 동안 깔짚의 종류 및 사용량에 따른 미세먼지 발생량을 측정하여 마사 내 깔짚 사용 기준 마련을 위한 정보로 활용하고자 하였다.

Materials and Methods

시험 재료 및 개요

깔짚의 종류 및 사용량에 따른 마사 내 미세먼지 발생량을 보기 위한 시험은 2023년 2월부터 2023년 5월까지 약 3개월 간 이루어졌다. 제주도 소재의 국립축산과학원 난지축산연구소의 말 사육 시설에서 진행되었다. 시험이 진행된 말 사육 시설은 가로, 세로, 높이가 약 1.5 m \times 2 m \times 3 m 크기의 마방이 12 칸 설치된 곳으로써 마방 사이는 벽돌로 나뉘어져 있고 마방 별로 1 두씩 사육하는 공간이었다. 마방 사이의 천장 및 출입구는 공간이 이어져 있어 미세먼지 측정 시 간섭을 예방하기 위해 측정 시 비닐을 사용하여 임시로 공간을 격리할 수 있도록 하였다.

마사 내 깔짚 처리

시험 기간 동안 마사 내에서 사용했던 깔짚은 sawdust (알톱밥), wood shavings (대핏밥), wood pellet, straw (오차드그라스 짚) 4가지 종류를 선정하여 사용하였다. 4가지 깔짚 모두 상용되는 제품들을 구매하여 사용하였다. 그리고 각 깔짚 종류 별로 3가지 사용량을 설정하여 마사에 사용하였는데, 각각 높이가 3, 6, 9 cm 정도로 되도록 하였다

말 사양 관리

처리 별로 시험기간동안 말을 배치하여 사육시키며 미세먼지 발생량을 관찰하였다. 말은 다 자란 국내산 승용마(더러브렛 × 제주마)를 처리별로 1두씩 공시하여 사육하였다. 공시축들은 평균 체중이 약 350 kg 내외인 말로 선정하였다. 조사료는 오차드그라스 건초를 자율채식으로 급여하였고 농후사료는 체중의 1% 정도 되는 수준을 일 1회 급여하였다.

주요 수행 내용

말 사육 기간 동안 미세먼지 발생량 측정

미세먼지 측정은 2023년 2월 20일부터 2023년 3월 10일까지, 2023년 3월 20일부터 2023년 4월 7일까지, 2023년 4월 17일부터 2023년 5월 5일까지 총 3회에 걸쳐서 약 3주씩 측정하였다. 각 3주간의 시험 기간 동안 미세먼지 측정은 깔짚 처리 후 1일 후부터 시작하였다. 그리고 주2회 측정하여 측정간격은 3일 및 4일간격으로 측정되어, 총 6회를 3주간 측정하였다. 3주간의 측정이 종료한 후에는 깔짚을 동일하게 다시 깔아주었고 처리별 마방의 위치는 임의로 변경하여 다음 시험을 진행하였다. 미세먼지 측정은 PM_{2.5}, PM₁₀ 미세먼지를 측정하였고, 측정장비(Temtop M2000, Temtop Inc., USA)를 사용하여 마사 정 중앙에서 3반복으로 측정하였다. 측정 전에는 마사 바닥을 완전히 섞어준 후 약 하루 경과 후 측정하였다.

통계분석

측정한 데이터는 측정 회차별로 함께 평균 및 표준오차를 내었다. 그리고 회차별 깔짚 종류 및 사용량에 따른 미세먼지 발생량 결과에 대해 일원분산분석을 실시하여 $p < 0.05$ 수준에서 유의성을 검증하였다. 통계처리는 STATA software(version SE 17, StataCorp LLC., USA)를 이용하여 분석하였다.

Results and Discussion

깔짚 사용량 및 종류에 따른 미세먼지 발생량을 깔짚 적용 높이(3, 6, 9 cm)로 구분하여 Table 1 - 3에 나타내었다. 1차 분석 시에 처리구들간의 비교를 해보면 3 cm 사용 시에는 straw 처리구에서 PM_{2.5}, PM₁₀ 미세먼지가 각각 약 32.8, 53.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높은 경향을 보였고, PM_{2.5}, PM₁₀ 미세먼지 모두 sawdust, wood shavings, wood pellet 순으로 나타났다. 6 cm 사용 시에는 wood shavings 처리구에서 PM_{2.5}, PM₁₀ 미세먼지가 각각 약 33.3, 54.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높은 경향을 보였고, PM_{2.5}, PM₁₀ 미세먼지 모두 sawdust, straw, wood pellet의 순으로 나타났다. 9 cm 사용 시에는 sawdust 처리구에서 PM_{2.5}, PM₁₀ 미세먼지가 각각 약 54.6, 95.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높은 경향을 보였고, PM_{2.5}, PM₁₀ 미세먼지 모두 wood shavings, straw, wood pellet의 순으로 나타났다.

깔짚 사용량 및 종류에 따른 누적된 미세먼지 발생량 결과를 Fig. 1, 2에 나타내었다. 최종 분석(6차 분석)까지의 누적된 미세먼지 발생량을 보면 3 cm 사용 시에 sawdust 처리구에서 PM_{2.5}, PM₁₀ 미세먼지가 각각 약 154.9, 253.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높은 경향을 보였고, wood shavings, straw, wood pellet의 순으로 나타났다. 6 cm 사용 시에는 sawdust

처리구에서 PM_{2.5}, PM₁₀ 미세먼지가 각각 144.5, 234.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 그리고 wood shavings 처리구에서 PM_{2.5}, PM₁₀ 미세먼지가 각각 144.3, 235.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높은 경향을 보였고, straw와 wood pellet이 그 다음으로 나타났다. 9 cm 사용 시에는 sawdust처리구에서 PM_{2.5}, PM₁₀ 미세먼지가 각각 182.2, 307.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높게 나타났고, wood shavings, straw, wood pellet의 순으로 나타났다.

이러한 결과들을 통해서, 마사 내에서 깔짚 종류 중 sawdust와 shaving가 wood pellet 및 straw에 비해 상대적으로 많은 미세먼지를 발생시킬 수 있는 것으로 볼 수 있다. 특히 사용량이 가장 많았던 9 cm 처리구를 보면 sawdust처리구에서 초기의 미세먼지가 다른 처리구들에 비해 상대적으로 높게 나타난 것을 볼 수 있다. 입자의 크기가 wood pellet 혹은 straw등에 비해 상대적으로 가장 작았던 sawdust와 wood shavings 처리구에서 미세먼지가 많이 발생하

Table 1. Fine dust (PM_{2.5}, PM₁₀) emissions in 3 cm treatment over 18 days based on types of beddings.

Treatments	Fine dust emission ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						
	Day 1	Day 4	Day 8	Day 11	Day 15	Day 18	
PM _{2.5}	Sawdust	30.9 ± 7.1	32.3 ± 6.0	16.0 ± 4.8	25.7 ± 4.1	35.4 ± 5.7	13.7 ± 1.3a
	Wood shavings	29.5 ± 7.1	28.0 ± 8.2	13.4 ± 2.6	26.0 ± 3.1	35.1 ± 6.3	10.2 ± 0.6b
	Wood pellet	28.9 ± 8.2	26.7 ± 7.0	11.9 ± 2.0	23.6 ± 2.2	34.7 ± 5.8	9.8 ± 0.4b
	Straw	32.8 ± 7.3	30.6 ± 8.0	10.3 ± 1.7	22.6 ± 2.3	34.4 ± 5.9	10.8 ± 0.5ab
PM ₁₀	Sawdust	49.9 ± 11.0	53.9 ± 9.4	28.1 ± 8.9	41.9 ± 7.0	56.0 ± 9.2	23.3 ± 7.9a
	Wood shavings	48.6 ± 11.2	45.1 ± 13.2	20.4 ± 2.7	43.2 ± 5.2	56.2 ± 10.2	17.0 ± 1.1b
	Wood pellet	46.3 ± 13.0	43.3 ± 11.0	19.7 ± 3.6	38.4 ± 3.7	54.5 ± 9.3	16.1 ± 0.6b
	Straw	53.1 ± 11.6	48.5 ± 12.8	16.3 ± 2.9	37.2 ± 3.7	52.8 ± 10.3	17.8 ± 0.7ab

a, b: Means in a row with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

Table 2. Fine dust (PM_{2.5}, PM₁₀) emissions in 6 cm treatments over 18 days based on types of beddings.

Treatments	Fine dust emission ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						
	Day 1	Day 4	Day 8	Day 11	Day 15	Day 18	
PM _{2.5}	Sawdust	31.4 ± 7.4	27.6 ± 7.6	11.6 ± 2.2	26.0 ± 2.5	36.5 ± 5.4	11.5 ± 0.5a
	Wood shavings	33.3 ± 8.5	27.5 ± 8.1	10.8 ± 1.7	26.5 ± 4.7	35.9 ± 5.8	10.2 ± 0.6ab
	Wood pellet	27.9 ± 7.7	25.3 ± 6.8	11.0 ± 1.5	23.1 ± 3.2	34.3 ± 5.3	9.0 ± 0.5b
	Straw	30.5 ± 6.0	31.8 ± 10.2	11.4 ± 1.7	23.6 ± 2.7	33.8 ± 5.9	9.9 ± 0.6ab
PM ₁₀	Sawdust	50.9 ± 11.5	44.7 ± 12.2	19.6 ± 3.9	41.5 ± 4.4	58.4 ± 8.8	19.3 ± 1.0a
	Wood shavings	54.2 ± 13.4	44.3 ± 12.9	17.8 ± 2.6	44.3 ± 8.2	57.6 ± 9.2	17.0 ± 1.0ab
	Wood pellet	44.3 ± 11.9	40.7 ± 10.7	17.7 ± 2.4	38.0 ± 5.5	54.6 ± 8.5	14.8 ± 0.8b
	Straw	49.5 ± 9.2	45.0 ± 12.4	18.7 ± 2.8	38.7 ± 4.3	53.2 ± 9.5	16.1 ± 1.0ab

a, b: Means in a row with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

Table 3. Fine dust (PM_{2.5}, PM₁₀) emissions in 9 cm treatments over 18 days based on types of beddings.

Treatments	Fine dust emission ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						
	Day 1	Day 4	Day 8	Day 11	Day 15	Day 18	
PM _{2.5}	Sawdust	54.6 ± 8.7	35.6 ± 6.5	19.3 ± 7.0	26.4 ± 1.5	34.5 ± 6.1	11.9 ± 0.7a
	Wood shavings	34.2 ± 7.8	28.4 ± 7.7	11.1 ± 1.9	27.2 ± 5.2	33.6 ± 5.6	9.4 ± 0.4b
	Wood pellet	30.0 ± 8.8	26.3 ± 7.1	10.8 ± 1.7	21.7 ± 1.8	33.7 ± 5.7	8.5 ± 0.5b
	Straw	31.3 ± 5.5	27.5 ± 7.7	11.9 ± 1.8	23.9 ± 2.8	34.6 ± 5.8	10.3 ± 0.5ab
PM ₁₀	Sawdust	95.3 ± 15.7	60.4 ± 10.3	34.3 ± 13.4	43.9 ± 2.2	54.7 ± 9.9	19.2 ± 1.4a
	Wood shavings	55.5 ± 12.1	46.5 ± 12.2	18.0 ± 3.0	45.6 ± 9.1	53.6 ± 9.0	15.4 ± 0.7ab
	Wood pellet	48.0 ± 14.2	42.9 ± 11.5	17.4 ± 2.8	35.6 ± 2.8	52.9 ± 9.2	13.8 ± 0.8b
	Straw	51.6 ± 8.4	44.0 ± 12.4	19.6 ± 3.1	39.4 ± 4.7	55.0 ± 9.3	17.2 ± 0.9ab

a, b: Means in a row with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

것으로 사료된다. Hinds (1999)에 따르면 입자의 지름이 2.5, 10, 100 μm 일 경우 대기 중 침전 속도가 약 0.2, 3.0, 100 mm/s로 나타나는 것으로 보고하고 입자의 크기가 작을수록 축사 내 먼지량이 더 많이 발생하게 된다고 하였다. Gustafsson (1999)이 보고한 바에 따르면 돼지 축사에서 먼지의 입자가 작을수록 먼지의 이동을 위해서 더 빠른 공기의 흐름이 있어야 하고, 환기 시설에 의해 제거가 잘 되지 않는다고 하였다. 그리고 동물들의 움직임에 의해서 지속적인 먼지가 발생하면서 마사 내에 먼지가 계속 발생할 수 있고 이것은 입자가 작은 sawdust와 shaving에서

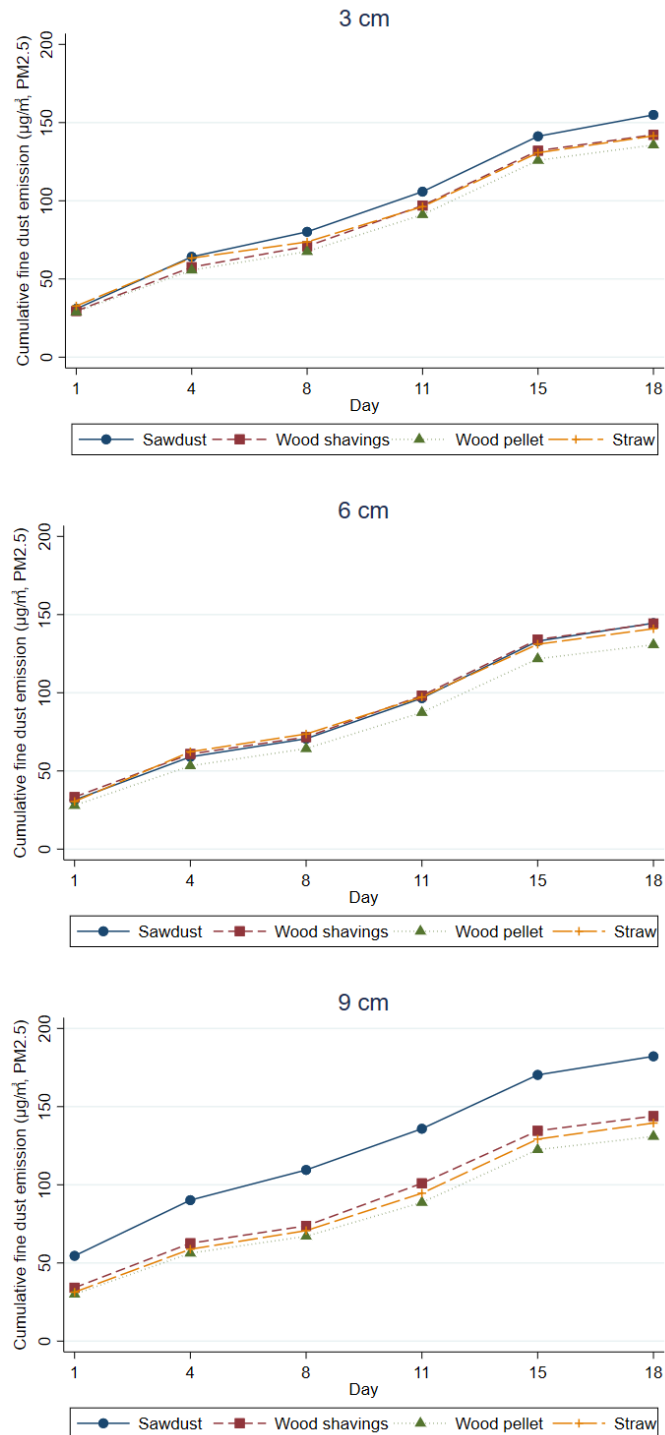


Fig. 1. Cumulative fine dust (PM2.5) emissions in (A) 3 cm, (B) 6 cm, and (C) 9 cm treatments over 18 days based on types of beddings.

더 잘 먼지가 발생했다고 볼 수 있다(Pedersen and Takai, 1999). 또한 van Ham 등(2012)에 따르면 육계사에서 wood shavings, wheat straw, rapeseed straw, silage maize 등을 깔짚으로 사용하여 육계를 사육하였을 때 wood shavings 처리구에서 PM_{2.5} 미세먼지가 첫 분석 시 1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타나 다른 처리구들에 비해 다소 높게 나타나는 경향을 보였다고 보고된 바 있어, 본 연구에서 wood shavings 처리구의 많은 미세먼지 발생량과 비슷한 결과를 확인하였다. 이러한 결과들을 바탕으로 입자의 크기가 상대적으로 작은 sawdust 혹은 wood shavings를 마사에서 깔짚으로 사용 시

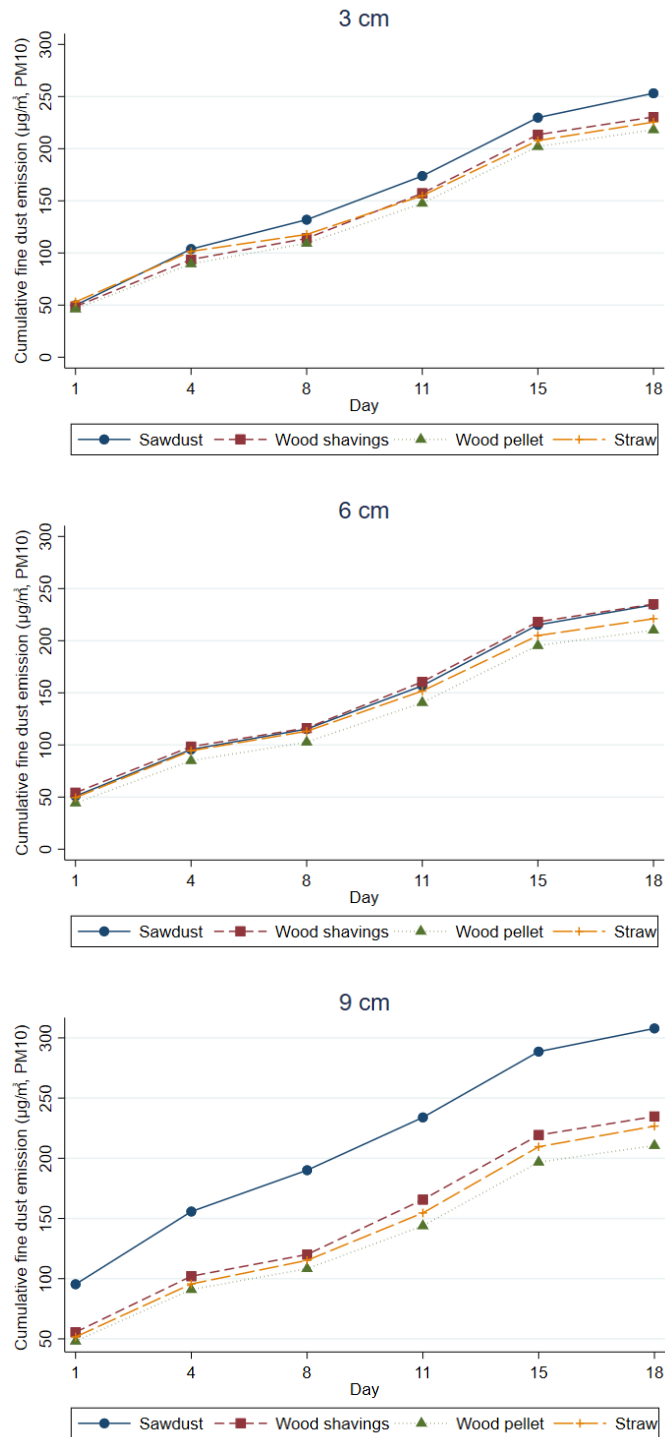


Fig. 2. Cumulative fine dust (PM₁₀) emissions in (A) 3 cm, (B) 6 cm, and (C) 9 cm treatments over 18 days based on types of beddings.

초기 미세 먼지 발생에 유의해야할 필요가 있을 것으로 사료된다.

모든 깔짚 사용량 및 종류 처리구들에서 미세먼지 발생량은 3차 분석 시까지 감소하다가 증가하는 경향을 보였다. 3 cm 사용 시에 3차 분석 시 V깔짚 종류별 PM_{2.5} 미세먼지 발생량은 sawdust, wood shavings, wood pellet, Straw가 각각 16.0, 13.4, 11.9, 10.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 감소하였고, PM₁₀ 미세먼지 발생량은 각각 28.1, 20.4, 19.7, 16.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 감소하였다. 그 이후 5차 분석 시에 깔짚 종류별 PM_{2.5} 미세먼지 발생량은 sawdust, wood shavings, wood pellet, straw가 각각 35.4, 35.1, 34.7, 34.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 증가하였고, PM₁₀ 미세먼지 발생량은 각각 56.0, 56.2, 54.5, 52.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 증가하였다. 6 cm 사용 시에 3차 분석 시 깔짚 종류별 PM_{2.5} 미세먼지 발생량은 sawdust, wood shavings, wood pellet, straw가 각각 11.6, 10.8, 11.0, 11.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 감소하였고, PM₁₀ 미세먼지 발생량은 각각 19.6, 17.8, 17.7, 18.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 감소하였다. 그 이후 5차 분석 시에 깔짚 종류별 PM_{2.5} 미세먼지 발생량은 sawdust, wood shavings, wood pellet, straw가 각각 36.5, 35.9, 34.3, 33.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 증가하였고, PM₁₀ 미세먼지 발생량은 각각 58.4, 57.6, 54.6, 53.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 증가하였다. 9 cm 사용 시에 3차 분석 시 PM_{2.5} 깔짚 종류별 미세먼지 발생량은 sawdust, wood shavings, wood pellet, straw가 각각 약 19.3, 11.1, 10.8, 11.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 감소하였고, PM₁₀ 미세먼지 발생량은 각각 34.3, 18.0, 17.4, 19.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 감소하였다. 그 이후 5차 분석 시에 PM_{2.5} 깔짚 종류별 미세먼지 발생량은 sawdust, wood shavings, wood pellet, straw가 각각 약 35.5, 33.6, 33.7, 34.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 증가하였고, PM₁₀ 미세먼지 발생량은 각각 54.7, 53.6, 52.9, 55.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 증가하였다.

3차 분석 시까지 미세먼지 발생량이 감소하는 경향을 보인 것은 말의 분뇨가 생산되면서 바닥의 깔짚들의 수분 함량이 높아지면서 먼지 발생 감소에 영향을 준 것으로 사료된다. Hinz 등(1999)은 짚 건초의 먼지 발생을 억제하는 가장 좋은 방법은 수분을 가하는 것이고, 285 kg의 짚 건초에 54 L의 물을 혼합하였을 때 92%의 먼지 발생이 감소된다고 보고하였다. Miller와 Berry (2005)에 따르면 우사 바닥의 수분함량이 증가할수록 먼지 발생 가능성이 감소한다고 이 감소한다고 하였다. 소의 분뇨와 흙 혼합물의 수분함량이 증가함에 따라 먼지 발생 가능성이 급격하게 낮아진다고 보고하였다. Fleming 등(2008, 2009)에 따르면 발생하는 가축분뇨를 자주 치워줄수록 PM₁₀ 미세먼지가 많이 발생한다고 했는데 이 역시 수분함량과 관련이 있다. 새로운 깔짚은 수분함량이 낮기 때문에 먼지 발생이 많지만 시간이 지남에 따라 가축분뇨의 혼합으로 수분함량이 증가하여 먼지 발생량이 감소한다고 하였다 (Fleming et al., 2008, 2009).

그리고 이후 모든 사용량 및 종류들에서 미세먼지 발생량이 다시 증가하는 경향을 보였는데 먼지 발생량이 증가한 것은 가축분뇨의 증가에 따른 암모니아 발생이 영향을 준 것으로 사료된다. 여러 연구에 따르면 암모니아의 경우 PM_{2.5}미세먼지의 전구체로써 작용한다. 시험이 중반까지 지나면서 가축분뇨의 생산으로 깔짚의 수분함량이 증가하고 이에 따라 미세먼지 발생량이 감소하다가 유기 질소의 분해로 암모니아가 발생하고 이것이 미세먼지의 전구체로 작용하는 등 미세먼지 발생량 증가에 영향을 준 것으로 사료된다(Behera and Sharma, 2010; Garlipp et al., 2011; Shon et al., 2012; Yang et al., 2020; Kim et al., 2022).

Conclusion

본 연구에서는 깔짚의 종류 및 사용량이 마사 내 미세먼지 발생량에 미치는 영향을 조사하였다. 말 사육기간 동안 깔짚 종류 및 사용량에 따른 PM_{2.5} 및 PM₁₀ 미세먼지 발생량을 조사한 결과, sawdust와 wood shavings 깔짚의 사용은 wood pellet과 straw에 비해 상대적으로 많은 미세먼지를 발생시킬 수 있음을 확인하였다. 특히 사용량이 많은 경우 sawdust 깔짚에서 초기에 미세먼지 발생이 더 높은 경향을 보였다. 이러한 결과는 입자의 크기와 깔짚 종류 사이의 관련성에 의한 것으로 볼 수 있으며, 작은 입자 크기의 깔짚은 초미세먼지 발생에 미치는 영향이 크다는 것 또한 이야기할 수 있다. 또한, 연구에서는 미세먼지 발생량이 시간이 지남에 따라 감소하다가 다시 증가하는 경향

을 보였다. 이는 말의 분뇨에 의해서 깔짚의 수분 함량이 증가하면서 미세먼지 발생이 감소하다가, 이후 암모니아의 발생으로 인해 다시 미세먼지 발생량이 증가한다는 것으로 말할 수 있다고 사료된다. 따라서 본 연구 결과는 말 사육 시 깔짚의 선택과 사용량 조절이 마사 내 미세먼지 관리에 중요한 역할을 할 수 있음을 보여 준다고 사료되며, 국내 말 산업의 지속적인 성장과 건강한 말 사육을 위한 관리법 등에 정보로 활용될 수 있을 것으로 기대한다. 다만 향후 추가 적인 연구를 통해 말 사육 시 적절한 깔짚 관리법을 정립하기 위한 더욱 정밀한 결과들이 필요할 것으로 사료된다.

Conflict of Interests

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgements

본 연구는 농촌진흥청 시험연구사업(연구개발과제명: 말 성장단계별 장내세균 특성 구명 및 마사 내 환경개선 연구, 연구개발과제번호: PJ015660)의 지원으로 수행되었습니다.

Authors Information

Ji Hyun Yoo, <https://orcid.org/0000-0003-1815-4115>

Jong An Lee, <https://orcid.org/0000-0002-4761-1808>

Jae Young Choi, <https://orcid.org/0000-0001-8264-1482>

Sang Min Shin, <https://orcid.org/0000-0001-7924-1365>

Hyeon Ah Kim, <https://orcid.org/0000-0002-4203-9857>

Mi Young Won, <https://orcid.org/0000-0001-7127-5034>

Yong Jun Kang, <https://orcid.org/0000-0001-8949-7831>

Hee Chung Ji, <https://orcid.org/0000-0002-7566-582X>

In Cheol Cho, <https://orcid.org/0000-0003-3459-1999>

Jin Hyoung Kim, Director, Subtropical Livestock Research Institute, National Institute of Animal Science, Rural Development Administration

References

- Aarnink A, Ellen H. 2008. Processes and factors affecting dust emission from livestock production. In Proceeding of How to Improve Air Quality 23-24 April 2007.
- Behera S, Sharma M. 2010. Investigating the potential role of ammonia in ion chemistry of fine particulate matter formation for an urban environment. *Science of The Total Environment* 408:3569-3575.
- Choi JK, Choi IS, Cho KK, Lee SH. 2020. Harmfulness of particulate matter in disease progression. *Journal of Life Science* 30:191-201. [in Korean]
- Fleming K, Hessel EF, Van den Weghe HFA. 2008. Generation of airborne particles from different bedding materials used for horse keeping. *Journal of Equine Veterinary Science* 28:408-418.

- Fleming K, Hessel EF, Van den Weghe HFA. 2009. Gas and particle concentrations in horse stables with individual boxes as a function of the bedding material and the mucking regimen. *Journal of Animal Science* 87:3805-3816.
- Garlipp F, Hessel EF, Van den Weghe HFA. 2011. Characteristics of gas generation (NH_3 , CH_4 , N_2O , CO_2 , H_2O) from horse manure added to different bedding materials used in deep litter bedding systems. *Journal of Equine Veterinary Science* 31:383-395.
- Gustafsson G. 1999. Factors affecting the release and concentration of dust in pig houses. *Journal of Agricultural Engineering Research* 74:379-390.
- Hinds W. 1999. *Aerosol technology: Properties, behavior, and measurement of airborne particles*, 2nd edition. John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.
- Hinz T, Sonnenberg H, Hartung J, Linke S, Schilf J. 1999. Dust reduction when littering a cattle house. pp. 329-334. In *Proceeding of International Symposium on Dust Control in Animal Production Facilities*, 30 May - 2 June, Aarhus, Denmark.
- Kang HS, Hong SK, Cho WM, Paek BH, Park CH, Lee DS. 1995. Effects of sawdust and rice hulls litter on the waste management of Hanwoo (Korean native cattle). *Journal of Animal Environmental Science* 1:1-8. [in Korean]
- Kim SI, Heo W, Lee SJ, Kim YJ. 2022. Isolation and characterization of effective bacteria that reduce ammonia emission from livestock manure. *Microorganisms* 10:77.
- KRA (Korea Racing Authority). 2020. 2019 Factual survey report of horse industry. KRA, Gwacheon, Korea.
- Kwiatkowska-Stenzel A, Witkowska D, Sowińska J, Stopyra A. 2017. The effect of stable bedding materials on dust levels, microbial air contamination and equine respiratory health. *Research in Veterinary Science* 115:523-529.
- Lee PSH, Park J, Seo J. 2020. Estimation of ambient PM10 and PM2.5 concentrations in Seoul, South Korea, using empirical models based on MODIS and Landsat 8 OLI imagery. *Korean Journal of Agricultural Science* 47:59-66. [in Korean]
- Miller DN, Berry ED. 2005. Cattle feedlot soil moisture and manure content: I. Impacts on greenhouse gases, odor compounds, nitrogen losses, and dust. *Journal of Environmental Quality* 34:644-655.
- Pedersen S, Takai H. 1999. Dust response to animal activity. pp. 306-309 In *Proceeding of International Symposium on Dust Control in Animal Production Facilities*, 30 May - 2 June, Aarhus, Denmark.
- Shon ZH, Kim KH, Song SK, Jung K, Kim NJ, Lee JB. 2012. Relationship between water-soluble ions in PM2.5 and their precursor gases in Seoul megacity. *Atmospheric Environment* 59:540-550.
- Tanner MK, Swinker AM, Beard ML, Cosma GN, Traub-Dargatz JL, Martinez AB, Olenchock SA. 1998a. Effect of phone book paper versus sawdust and straw bedding on the presence of airborne gram-negative bacteria, fungi and endotoxin in horse stalls. *Journal of Equine Veterinary Science* 18:457-461.
- Tanner MK, Swinker AM, Traub-Dargatz JL, Stiffler LA, McCue PM, Vanderwall DK, Johnson DE, Vap LM. 1998b. Respiratory and environmental effects of recycled phone book paper versus sawdust as bedding for horses. *Journal of Equine Veterinary Science* 18:468-476.
- van Harn J, Aarnink AJA, Mosquera J, van Riel JW, Ogink NWM. 2012. Effect of bedding material on dust and ammonia emission from broiler houses. *Transactions of the ASABE* 55:219-226.
- Yang JH, Jung J, Ryu JH, Yoh JJ. 2020. Real-time monitoring of toxic components from fine dust air pollutant samples by utilizing spark-induced plasma spectroscopy. *Chemosphere* 257:127237.