

홀스타인종 착유우 비유기간에 따른 질소 배출량 예측치와 실측치 비교 분석

엄준식, 임동현, 박성민, 박지후, 최태정, 김동현
국립축산과학원 낙농과
e-mail:kimdh3465@korea.kr

Comparative analysis of predicted and measured nitrogen emissions from Hostein dairy cows according to lactation period

Jun-Sik Eom, Dong-Hyun Lim, Seong-Min Park, Ji-Hoo Park,
Tae-Jeong Choi, Dong-Hyeon Kim
Dairy Science Division, National Institute of Animal Science

요약

젖소 분뇨의 질소배출은 환경부하와 직결될 뿐만 아니라 사료 영양소 이용효율과도 밀접하게 연관된다. 질소 배출량을 정확히 예측하고 관리하는 것이 생산성 향상과 동시에 환경부하 저감을 동시에 기여할 수 있다. 따라서 본 연구는 홀스타인종 착유우 비유기간에 따른 질소 배출량 모델의 예측치와 실제 실측치를 비교 분석하기 위해 수행되었다. 홀스타인종 착유우 비유기간별 질소배출량 모델 예측치와 실제 실측치는 비유기간에 관계없이 예측 보다 실측에서 모두 유의적으로 적게 배출되었다($p < 0.05$). 예측 모델의 성능은 평균오차(RMSPE)와 일치도(CCC)가 모두 낮게 나타났으며, 음의 기울기를 나타내 모델의 예측 성능이 좋지 않은 것으로 판단된다. 따라서, 본 연구 결과는 현행 질소배출량 예측 모델이 실제 사양 환경에서의 질소 배출을 과대 추정할 수 있음을 시사하며, 비유기간에 따른 생리적 변화와 사료 이용효율을 반영한 모델 개선이 필요함을 보여준다.

1. 서론

젖소 분뇨의 질소배출은 환경부하와 직결될 뿐 아니라 사료 영양소 이용효율과도 밀접하게 연관된다[1]. 사료 내 단백질이 충분히 활용되지 못하고 분뇨로 배출될 경우, 이는 단순히 환경오염 요인으로 작용할 뿐 아니라 사료 자원의 손실로 이어져 농가의 생산비 부담을 가중시킨다[2]. 따라서 질소배출량을 정확히 예측하고 관리하는 것은 사양관리 측면에서 생산성 향상과 비용 절감에 동시에 기여할 수 있는 핵심 과제라 할 수 있다. 한국가축사양 표준(2022)에서는 착유우의 사양단계에 따른 질소 배출량 예측 모델을 제시하고 있으나, 이는 이론적 추정치에 근거한 만큼 실제 사양환경에서의 적용성 검증이 필요하다[3]. 특히 비유기간에 따라 사료 섭취량, 영양소 이용률, 산유량 및 분뇨 배출 특성이 크게 달라지므로 모델의 타당성을 현장 수준에서 평가하는 것은 매우 중요하다. 이에 본 연구에서는 홀스타인 착유우를 대사시험틀에

입식하여 비유단계별 섭취량, 음수량, 분뇨 배출량 및 유 생산성을 측정하고, 이를 토대로 사양표준에서 제시한 질 소배출 예측 모델의 정확성과 적합성을 검증하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시동물, 사양관리 및 조사항목

본 시험은 국립축산과학원 축산자원개발부에서 수행하였고, 동물보호법 및 국립축산과학원 동물실험윤리위원회에서 검토 승인한 방법에 따라 진행되었다 (NIAS-2022004).

공시동물은 홀스타인 착유우 대상으로 비유초기(산차: 3.3 ± 1.9 산, 비유일수: 49 ± 5.1 일, 유량: 30.9 ± 4.79 kg/d), 중기(산차: 1산, 비유일수: 171 ± 2.9 일, 유량: 22.0 ± 4.77 kg/d) 및 말기(산차: 1산, 비유일수: 189 ± 2.9 일, 유량: 23.2 ± 2.38 kg/d)에 따라 3두씩 총 9두를 선발하였으며, 한국가축사양표준 착유우 영양소 요구량에 준하는 TMR을 급여하였다[3]. 사료 급여는

매일 8:00와 15:00에 나누어 급여하였으며, 비유기별 급여사료의 일반성분은 표 1과 같다. 시험기간은 총 14일로 사료 및 환경적응을 11일 후, 3일간 배출량 샘플을 수집하였다.

조사항목으로는 사료 일반성분(건물, 조단백질, 조지방, 조섬유, 조회분, 중성세제불용성섬유, 산성세제불용성섬유, 비섬유성 탄수화물) 체중(개시 및 종료시), 섭취량, 음수량, 분뇨 배출량 및 유생산성(유량, 유단백질, 유지방)을 분석하였다.

[표 1] 비유기간별 착유우 급여사료 일반성분(%)

항목	비유초기 (~100일)	비유중기 (101~200일)	비유말기 (201일~)
건물	65.1	58.3	57.8
조단백질	15.7	15.3	15.9
조지방	3.62	3.51	3.51
조섬유	16.8	18.2	23.4
조회분	7.62	8.06	9.45
중성세제불용성섬유	50.6	49.0	51.5
산성세제불용성섬유	25.9	23.2	29.2
비구조성 탄수화물	22.5	24.1	19.7

2.2 통계처리

본 시험에서 얻어진 결과의 통계분석은 Statistical Analysis System(version 9.4; SAS Institute Inc.)의 t-검정을 이용하여 분석하였으며, 5% 유의수준에서 처리구간의 유의성 검증을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

착유우 비유기간에 따른 대사시험 결과, 개시 체중에 비해 종료 시 체중이 모든 기간에서 수치적으로 감소하였다(표 2, 비유초기 691 vs. 681 kg; 중기 619 vs. 593; 말기 628 vs. 617). 이는 대사를 환경에 따른 개체의 섭취량이 일반 환경에 비해 감소하여 발생된 결과로 판단된다(표 1).

사료 섭취량의 경우, 비유초기와 중기(16.7과 15.8 kg)보다 말기(22.2 kg)에 증가하였다. 사료 섭취량의 증가는 자유채식 상황에서 비유말기 시험축들이 많이 섭취한 것으로 판단된다. 이에 따라 분 배출량은 비유말기에서 가장 높았으며, 비유기간이 지남에 따라 비유말기의 산유능력이 낮아짐에 따라 사료효율 측면에서 낮아져 분 배출량은 사료 섭취량이 많았던 비유말기에 증가한 것으로 판단된다. 이는 음수량과도 일부 연관성이 있을 수 있는데, 비유기간이 지남에 따라 음수량이 점진적으로 감소

하였다. 비유기간에 따른 유량의 감소로 인해 음수량이 줄어들 수 있다. 하지만 본 연구에서는 비유말기에 많은 사료섭취로 인해 사료 내에서도 수분을 제공 받아 비유중기와 말기에 유량이 비슷하게 유지하였음에도 음수량은 줄어든 것으로 판단된다.

[표 2] 비유기간별 착유우의 평균 체중, 섭취량, 음수량, 분뇨 배출량 및 유생산량

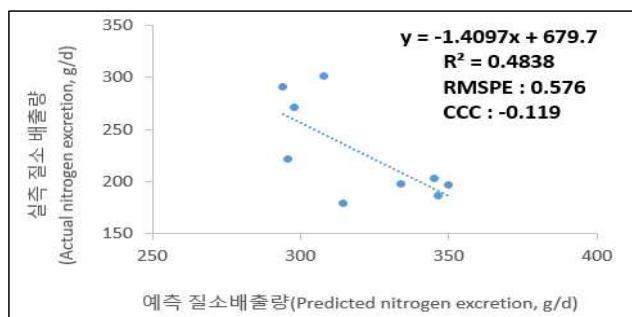
항목	비유초기 (~100일)	비유중기 (101~200일)	비유말기 (201일~)
개시 체중, kg	691±39.7	619.7±52.7	628.8±62.1
종료 시 체중, kg	681±44.3	593.0±62.6	617.3±65.6
사료 섭취량, kg DM	16.7±0.3	15.8±1.7	22.2±2.0
음수량, L	109.4±20.1	92.2±19.4	78.8±9.0
분뇨 배출량, L	38.7±10.7	29.6±9.4	44.7±3.8
뇨 배출량, L	15.3±1.3	19.9±3.9	18.6±3.2
유량, kg	30.9±4.8	23.4±4.4	23.2±1.9
유단백질, %	3.05±0.1	3.15±0.20	3.89±0.03
유지방, %	4.47±0.7	3.98±0.27	3.13±0.03

착유우의 비유기간별 질소배출량 예측치와 실측치를 비교한 결과는 그림 1과 같다. 비유기간에 관계없이 예측치보다 실측치에서 질소배출량이 93, 150 및 113 g/d가 유의적으로 적게 배출되었다($p < 0.05$). 비유기간별 질소배출량 예측식의 예측력을 분석한 결과, 마찬가지로 비유기간에 관계없이 예측과 실측 값의 평균오차(RMSPE)가 비유초기, 중기 및 말기가 각각 0.576, 0.958 및 0.523으로 낮게 나타났으며, 비유 중기는 매우 큰 오차를 나타내었다. 일치도(CCC)도 각각 -0.119, -0.085, -0.030으로 모두 매우 낮으며, 음의 기울기를 나타내 모델의 예측 성능이 좋지 않은 것으로 판단된다.

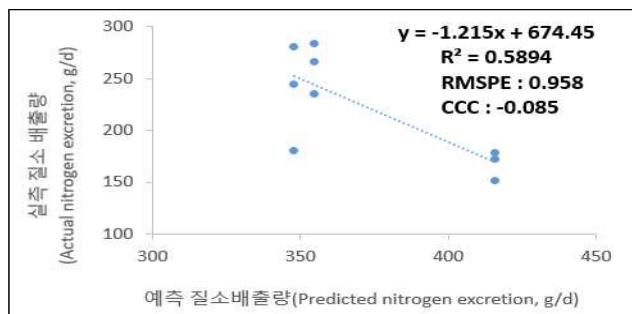


[그림 1] 비유초기 착유우 대상 질소배출량 예측식과 실측치

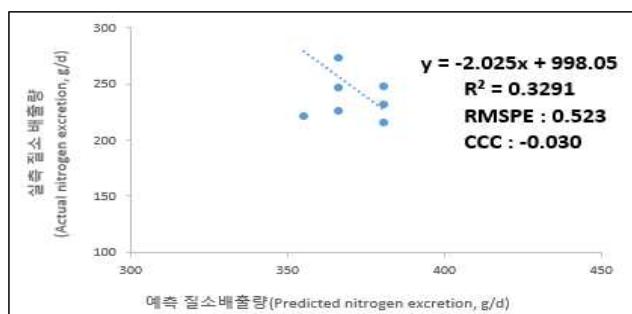
따라서, 본 연구 결과는 현행 질소배출량 예측 모델이 실제 사양 환경에서의 질소 배출을 과대 추정할 수 있음을 시사하며, 비유기간에 따른 생리적 변화와 사료 이용효율을 반영한 모델 개선이 필요함을 보여준다.



[그림 2] 비유초기 착유우 대상 질소배출량 예측식의 예측력



[그림 3] 비유중기 착유우 대상 질소배출량 예측식의 예측력



[그림 4] 비유말기 착유우 대상 질소배출량 예측식의 예측력

참고문헌

- [1] 정민국, 이용건, 최진용. 축산업 환경영향 분석과 정책과제. 한국농촌경제연구원 기본연구보고서, 1-255, 2021.
- [2] Park, S., Lee, S. R., Kim, S., Yang, B. J., & Choi, Y. Evaluation of ammonia emission from dairy manure leachate after solid-liquid separation during mesophilic aeration. Journal of Animal Environmental Science, 26(1), 24-31, 2024.
- [3] NIAS Korean Feeding Standard for Dairy Cattle, National Institute of Animal Science. Rural Development Administration, 2022. (Available online: <https://share.google/xwY2Bhw1eNvGfET76>)