

Research Article

마분 퇴비 시용 수준이 이탈리아 라이그라스 생산성과 용탈수 성분에 미치는 영향

유지현^{1*}, 박남건¹, 우제훈¹, 안희권², 양병철¹

¹농촌진흥청 국립축산과학원 난지축산연구소

²충남대학교 동물자원과학부

Effects of Horse Manure Compost Application Level on the Productivity of Italian Ryegrass and Soil Nitrate Leaching

Ji-Hyun Yoo^{1*}, Nam-Geon Park¹, Jae-Hoon Woo¹, Hee-Kwon Ahn² and Byoung-Chul Yang¹

¹National Institute of Animal Science, RDA, Jeju 63242, Korea

²Division of Animal and Dairy Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, South Korea

ABSTRACT

This study was conducted to figure out the productivity of Italian ryegrass(IRG) and leaching water characteristics based on horse manure compost level in Jeju. This study was conducted for about six months. Six treatments were established : non-fertilizer(NF), chemical fertilizer 100%(CF), horse manure compost 50% and chemical fertilizer 50% combination(Combination), horse manure compost with 50% of nitrogen (50%), 100% of nitrogen(100%), 150% of nitrogen(150%). The highest amount of dry matter yield of IRG was revealed in CF(11,965±564 kg/ha), and both 150% and Combination were second($p<0.05$). Nitrate leaching tended to increase until the third analysis and then decreased. There were not significantly differences among mean nitrate concentrations. The findings of the study suggest that horse manure compost with 50% of nitrogen be applied for IRG as basal fertilization and then 50% of chemical fertilizer be applied as top fertilization.

(Key words: Horse manure compost, Italian Ryegrass, Yield, Leaching water, Nitrate)

I. 서론

국내에서는 2012년 7월 말산업 육성법을 제정하는 등 새로운 농가 소득원으로써 말산업을 육성하기 위한 다양한 노력이 수행되고 있다. 이러한 노력의 결과로 국내 말 사육두수가 2017년 기준 27,210 두로 2016년 대비 0.6% 증가하는 등 산업의 규모가 점차 증가하는 추세를 보이고 있다(Korea Racing Authority, 2018). 또한 2015년 기준 국내 가축분뇨 총 발생량은 173천 톤/일로 전년 대비 2천 톤/일 감소했지만 말에서는 214 톤/일에서 2015년 기준 243 톤/일로 증가하였다는 조사결과도 있었다(Ministry of environment, 2015). 이러한 점들을 고려할 때 말 분뇨의 발생량은 점차 증가할 것으로 예상되며 이에 따른 분뇨 처리 문제가 향후 발생할 수 있다고 본다. 그러나 현재 국내에서 말 분뇨와 관련한 연구는 미비하여 향후 말 분뇨 발생으로 인한 문제를 대응하기 위한 다양한 노력이 필요한 실정이다.

국내 말 사육 두수의 약 57%는 제주도에서 사육되고 있다(Korea Racing Authority, 2018). 그리고 현재 제주도의 말 사육 농가들

은 대부분 말 분뇨를 퇴비화하여 토양에 환원하는 방식으로 처리하고 있다. 화산회토양은 물빠짐이 좋아 퇴비 및 비료 시용 시 비료 성분의 용탈이 잘 일어나기 때문에 대부분 화산회토양으로 이루어져 있는 제주도에서는 비료 시용에 특히 주의해야한다(Shin et al., 1975; Yoo et al., 1984; Kang et al., 2001).

가축분 퇴비는 다른 유기질 비료에 비해 질소, 인산, 칼리의 함량이 높고 질소에 비해 인산의 함량이 높은 특징이 있다. 이러한 특성으로 토양 중 영양성분의 불균형을 초래하거나 질산태 질소가 지하로 침투되어 지하수를 오염시키는 원인이 되기도 한다(Hwang et al., 2002; Hwang et al., 2004). 특히나 질산태 질소는 인체에 유해성이 큰 것으로 알려져 있어 현행법상 지하수 수질 기준의 주요 지표로 활용되기도 하며 유아에게 청색증(Methemoglobinemia)을 유발하여 큰 문제를 일으킬 수 있다(Kwun et al., 1997).

말 분뇨를 퇴비로 자원화 하여 주요 말 조사료인 이탈리아 라이그라스에 사용할 때 시용 수준에 따라 제주도 화산회토양에서 이탈리아 라이그라스의 생산성과 용탈수에 미치는 영향을 알아보기 위해 본 연구를 수행하였다.

*Corresponding author: Ji-Hyun Yoo, National Institute of Animal Science, RDA, Jeju 63242, Korea
Tel: +82-64-754-5720, Fax: +82-64-754-5713, E-mail : yoojihyun1@korea.kr

II. 재료 및 방법

본 연구는 2018년 10월 22일에 파종하고, 2019년 4월 25일에 수확하여 약 6개월간 수행하였다. 연구 장소는 해발 약 200 m에 위치한 국립축산과학원 난지축산연구소 시험포장에서 간이 Lysimeter를 설치하여 실시하였다. 간이 Lysimeter는 1 m×1 m×0.67 m 부피의 플라스틱 상자에 자갈, 다공성 막, 토양을 순서대로 채워 제작하였다. 토양은 농암갈색화산회토양을 사용하였다. 사료작물은 이탈리아 라이그라스(IRG) 중 ‘코원어리’를 공시하였다. 파종 방법은 조파로 하여 ha 당 40 kg을 파종하였다. 화학비료 시비량은 N-P-K = 200-150-150 kg/ha로 설정했고 마분 퇴비는 질소(N) 시비량을 기준으로 환산하여 사용하였다.

이탈리안 라이그라스는 출수기에 수확하였다. 수확 전 20개체를 임의로 선별하여 지엽의 선단까지의 길이를 측정하여 초장을 조사하였다. 수확 후 생초 수량을 측정하고, 생초 약 500 g 내외를 60°C에서 48시간 이상 건조한 후 건물물을 계산해 건물 수량을 조사하였다. 사료 가치 분석을 위해 작물을 완전히 건조 및 분쇄하여 Neutral detergent fiber(NDF), Acid detergent fiber(ADF), 조단백질(CP)을 분석하였다. NDF 및 ADF 함량은 Goering and Van Soest(1970)법에 준하여 분석하였고 조단백질은 AOAC(2011)법에 의거하여 분석하였다.

본 연구에 이용된 마분 퇴비는 난지축산연구소 퇴비 저장소에서 6개월 이상 부숙된 것을 사용하였다. 마분 퇴비에 대하여 총질소(TN), 총인(TP), 총칼륨(TK), 수분, 유기물 함량, pH 등 이화학적

성분을 농촌진흥청 기축분뇨 성분분석 실험법에 의거하여 분석했는데 그 결과는 Table 1과 같다(Rural Development Administration, 2006). 화학비료는 시판되는 요소비료, 용성인비, 염화칼륨 비료를 설정된 시비량을 기준으로 환산 후 혼합하여 사용하였다.

용탈수 채취를 위해서 간이 Lysimeter 하단부에 밸브를 설치하였고, 비 온 뒤 혹은 관개 후 충분히 모아지면 용탈수를 채취하였다. 용탈수는 시험 기간 중 총 7회(11.7, 11.19, 12.12, 1.25, 2.21, 3.5, 4.3.)에 걸쳐 채취하였다. 채취 후 질산태 질소(NO₃-N), 인산태 인(PO₃-P), 크롬(Cr), 구리(Cu), 아연(Zn)을 환경부 수질오염공정시험방법에 준하여 분석하였다(Ministry of environment, 2004).

시험구 처리구는 무시용구, 화학비료구, 마분 퇴비 + 화학비료 혼용구, 질소 기준 마분 퇴비 50%, 100%, 150% 시용구로 총 6 처리구를 설정했고 난괴법 3반복으로 배치하였다.

시험 기간 동안의 강수량 및 기온을 측정하기 위해 강수량 센서와 WatchDog 1450 Data Logger (Spectrum Technologies, WatchDog 1450, USA)를 설치하였다(해발 약 200 m). 시험 기간 중 강우 일수가 적을 경우 관개를 실시했고 이는 결과 데이터에 포함되었다. 강수량은 파종을 했던 10월에는 많았으나 11월에서 수확 시까지 대체로 100 mm 이내였고 기온은 계절에 따라 감소하다가 증가했는데 전 기간 15°C보다는 낮았다(Fig. 1).

통계처리는 R 통계 package(version 3.0.3)를 이용하여 처리구 간에 분산분석을 실시하였으며, 처리 간 유의성($p < 0.05$)은 ANOVA 분석 후 Duncan's multiple range test(1955)를 이용하여 검증하였다.

Table 1. Components of horse manure compost on as water basis

Treatment	TN(%)	TP(%)	TK(%)	water content(%)	OM ¹⁾ (%)	pH
Horse manure	0.55	0.358	0.94	75.24	21.47	8.08

¹⁾OM : Organic matter

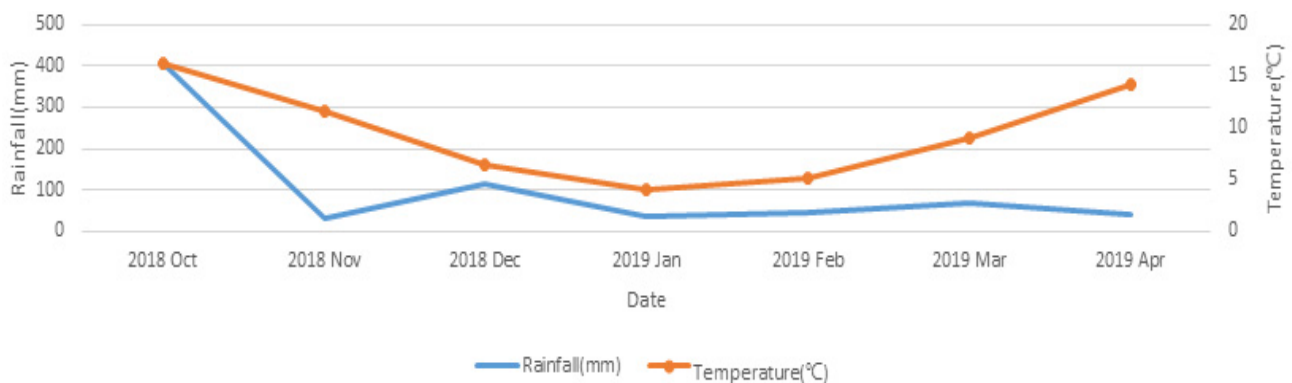


Fig. 1. Monthly rain fall and temperature during the experiment.

III. 결과 및 고찰

1. 이탈리아 라이그라스 생산성

마분 퇴비 사용 수준에 따른 이탈리아 라이그라스의 생산성은 Table 2와 같다. 초장은 총 2회에 걸쳐 조사하였는데 1차 조사에서는 마분 퇴비 150% 사용구가 29.1±2.8 cm로 유의적으로 가장 높았고 화학비료구와 마분 퇴비 100% 처리구가 각각 22.4±1.5, 20.9±3.1 cm로 그 다음으로 높았다. 2차(수확 시) 조사에서는 마분 퇴비 150%와 100%, 혼용구, 화학비료구가 각각 69.3±2.5 cm, 69.3±1.4 cm, 67.5±1.2 cm, 66.5±1.2 cm로 서로 간에 유의적인 차이는 없었으나 마분 퇴비 50% 처리구(62.5±0.4 cm)와 무사용구(61.6±2.1 cm)보다는 유의적으로 높았다($p<0.05$).

건물 수량은 화학비료구가 11,965±564 kg/ha로 유의적으로 가장 높았고 마분 퇴비 150%, 혼용구가 각각 9,043±681 kg/ha, 8,825±611 kg/ha이었으며, 마분 퇴비 100%, 50%, 무사용구가 각각 5,291±1,373 kg/ha, 4,293±804 kg/ha, 2,986±739 kg/ha이었다 ($p<0.05$).

Park et al.(2006)은 호밀에 돈분과 우분 액비를 질소를 기준으로 환산하여 사용했을 때 액비 사용량이 증가함에 따라 건물 수량이 증

가하고 화학비료에 비해 적게 나타난다고 했고, Annicchiarico et al.(2008)은 우분 퇴비를 유기질소 함량을 기준으로 환산하여 이탈리아 라이그라스에서 기비로 전량 사용하면 화학비료보다는 수량이 낮다고 하여 본 연구와 유사한 결과가 나타났다(Annicchiarico et al., 2008; Park et al., 2006).

코윈어리의 경우 건물 수량이 예취 방법과 지역별 기후 특성에 따라 약 7,800 kg/ha에서 30,000 kg/ha까지 다양하게 나타나는 것으로 보고되었다. Ji et al.(2019)은 제주지역에서 이탈리아 라이그라스(Florida 80)를 2회 예취했을 때 건물 수량이 30,737 kg/ha라고 보고하였다. 본 실험은 건물 수량이 다소 낮게 나타났다. 이는 1회 예취를 실시하였고, 토심이 낮아 토양 내 수분이 잘 머무르지 못 하는 간이 Lysimeter의 특성에 따라 작물의 성장이 저조했기 때문으로 사료 된다(Ko et al., 2015; Kim et al., 2016; Choi et al., 2018; Ji et al., 2019; Kim et al., 2019).

마분 퇴비 사용 수준에 따른 이탈리아 라이그라스의 식물체 성분은 Table 3에 나타내었다. NDF는 모든 처리구에서 39.8%~42.4%로 나타났고 ADF는 21.1%~23.6%로 나타났다. 그리고 조단백질은 7.0%~7.4%로 나타났다. NDF, ADF, 조단백질은 처리간의 유의적인 차이가 없었다. 따라서 IRG 생산 시 마분 퇴비를 사용

Table 2. Plant length and yield of IRG as affected by different nitrogen application

Treatment ¹⁾	Plant height(cm)		Yield(kg/ha)	
	21st. March	22nd. April	Fresh	Dry
NF	13.9±1.0 ^d	61.6±2.1 ^b	10,833±1,756 ^d	2,986±739 ^d
CF 100%	22.4±1.5 ^b	66.5±1.2 ^a	42,000±2,646 ^a	11,965±564 ^a
HM 50% + CF 50%	16.7±2.0 ^d	67.5±1.2 ^a	32,333±3,511 ^b	8,825±611 ^b
HM N 50%	17.4±1.1 ^{cd}	62.5±0.4 ^b	17,000±3,606 ^c	4,293±804 ^{cd}
HM N 100%	20.9±3.1 ^{bc}	69.3±1.4 ^a	20,333±4,509 ^c	5,291±1,373 ^c
HM N 150%	29.1±2.8 ^a	69.3±2.5 ^a	33,167±1,158 ^b	9,043±681 ^b

Mean ± S.D.

¹⁾NF : Non Fertilizer, CF : Chemical fertilizer, HM : Horse manure

^{a-d)}Means with different superscripts within the same column are significantly different ($p<0.05$).

Table 3. NDF, ADF, and CP of IRG as affected by different nitrogen application

Treatment ¹⁾	NDF(%)	ADF(%)	CP(%)
NF	39.8±1.2	21.1±1.4	7.4±0.3
CF 100%	42.3±3.4	23.6±1.4	7.1±0.3
HM 50% + CF 50%	40.6±1.0	21.8±1.6	7.3±0.1
HM N 50%	40.9±1.3	21.2±0.9	7.2±0.0
HM N 100%	41.8±1.4	22.9±2.0	7.0±0.4
HM N 150%	42.4±1.6	22.2±1.0	7.0±0.5

Mean ± S.D.

¹⁾NF : Non Fertilizer, CF : Chemical fertilizer, HM : Horse manure

해도 사료적 가치는 문제가 없을 것으로 사료된다.

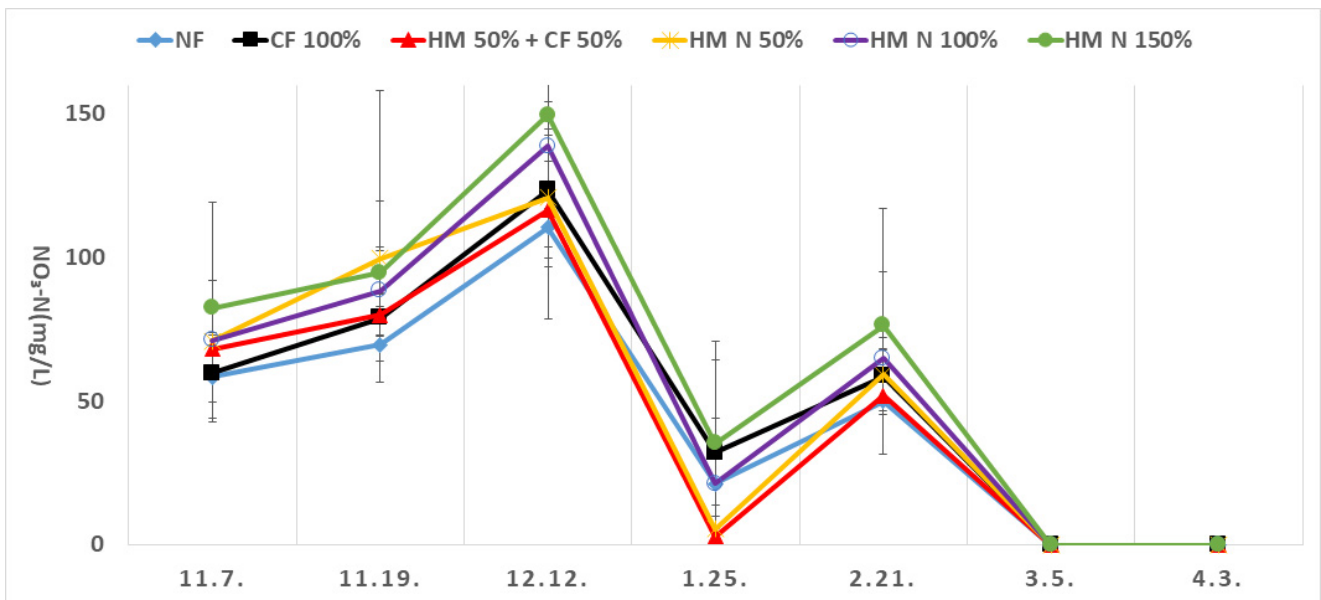
Ji et al.(2019)은 이탈리아 라이그라스(Florida 80)의 식물체 성분이 NDF는 약 61.2%, ADF는 약 38.2%, CP는 약 9.2% 정도라고 했는데 본 실험에서는 3가지 항목 모두 상대적으로 다소 낮게 나타났다. 간이 Lysimeter의 토심이 약 0.5 m 내외이고 충진 된 토양으로 충분히 토양이 다져지지 못해 토양 내 수분이 잘 머무르지 못하는 생육 조건이 형성 되었고, 이것이 작물의 생육에 영향을 준 것으로 사료된다. 그리고 이러한 생육 조건이 작물의 세포벽 형성을 저해하는 등 작물의 정상적인 세포벽 성분 형성을 저해한 것으로 사료된다. Kwon et al.(2008)은 맥류 작물이 출수 후 일수가 경과하면서 이삭의 비구조 탄수화물의 집적이 이루어져 NDF 함량이 낮아진다고 했는데, 본 연구에서는 이와 유사한 원리로 작물의 성장 저해 요인이 세포벽 형성을 저해하였고 출수 후 성숙이 빠르게 진행되어 비구조 탄수화물이나 회분 등의 다른 물질들의 함량이 높아져 NDF와 ADF의 함량이 낮게 나타난 것으로 사료 된다. 그리고 질소의 용탈이 잘 되는 화학비토양의 특성 및 물빠짐이 일반적인 포장보다 심하게 일어나는 간이 Lysimeter의 특성상 식물의 질소 이용성이 낮아져 조단백질의 함량이 낮게 나타난 것으로 사료된다. 그리고 이는 추후 추가 실험 등을 통해 정확한 원인 등을 확인해 볼 필요가 있을 것으로 판단된다(Ji et al., 2019; Kwon et al., 2008).

2. 용탈수 성분

용탈수의 분석항목 중 질산태 질소($\text{NO}_3\text{-N}$)의 경우 3차 분석(12.12.)까지는 전체적으로 증가하다가 감소하는 경향을 보였고 마지막 6, 7차 분석(3.5., 4.3.) 시에는 검출되지 않았다. 3차 분석 시에 마분 퇴비 150% 시용구가 82.5 ppm으로 가장 높게 나타났다(Fig. 2.).

$\text{NO}_3\text{-N}$ 는 처리구 간에 통계적 유의성은 없었으나 대체로 마분 퇴비 150% 시용구에서 $\text{NO}_3\text{-N}$ 가 수치적으로 가장 높았고, 그 다음으로 마분 퇴비 100% 시용구와 50% 시용구가 나타났으며, 화학비료구와 혼용구는 대체로 마분 퇴비를 사용했을 때보다 수치적으로 적거나 비슷한 수준으로 나타났다. 시험은 3반복으로 수행되었으나 모든 처리구 내에서 편차가 다소 크게 나타나 유의성이 없었던 것으로 사료된다(Fig. 2.).

돈분 퇴비 및 액비를 옥수수에 사용했을 때 시험 초기에 고농도의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 가 용탈 되고 초기 함량이 증가하였다가 점차 감소한다고 했는데 마분 퇴비를 사용했을 때에도 이와 비슷하게 나타났다(Yook et al., 2002). Basso et al.(2005)은 $\text{NO}_3\text{-N}$ 는 식물이 성장할 때가 수확 시나 파종 시보다 더 적게 용탈된다고 했는데 이와 같은 원리로 이탈리아 라이그라스의 월동기간 동안은 식물의 질소 이용률이 적어 $\text{NO}_3\text{-N}$ 이 다량 검출되었다가 식물의 생육 활동이 점차 활발해지면서 질소의 이용량도 많아져 $\text{NO}_3\text{-N}$ 도 적게 검출된 것으로 사료된다. 몇 가지 작물의 작부체계에서 우분 퇴비를 사용했을 때 용탈수에서 $\text{NO}_3\text{-N}$ 가 화학비료를 사용했을



Mean \pm S.D.

NF : Non Fertilizer, CF : Chemical fertilizer, HM : Horse manure compost

Fig. 2. Mean concentration of $\text{NO}_3\text{-N}$ in leaching water.

때보다 다소 높다고 했는데 마분 퇴비를 사용했을 때도 비슷한 결과가 도출되었다(Basso et al., 2005; Hepperly et al., 2009).

NO₃-N를 제외한 나머지 PO₄-P, Cr, Cu, Zn은 전 기간 거의 검출되지 않았다. PO₄-P의 경우 인의 집적이 잘 일어나는 제주도 화산회토양의 성질에 의해서 용탈수에서는 검출이 거의 되지 않은 것으로 사료되고 Cr, Cu, Zn은 퇴비에 함유된 양이 적었기 때문에 용탈수에서는 거의 검출되지 않은 것으로 사료된다.

IV. 요약

국내에서 말 사육 두수가 가장 많고 화산회토양으로 이루어져 있는 제주도에서 마분 퇴비의 사용수준이 이탈리아 라이그라스의 생산성과 수질 환경에 미치는 영향을 알아보기 위해 본 연구를 수행하였다. 사료작물은 이탈리아 라이그라스(코원어리)를 공시하였고 용탈수 성분 분석을 위해서 간이 Lysimeter를 제작하였다. 퇴비 사용 수준에 따라 6처리하였고, 이탈리아 라이그라스의 수량 등 생산성을 조사하였다. 용탈수는 7회 채취하여 NO₃-N, PO₄-P, Cr, Cu, Zn을 분석하였다. 마분 퇴비 사용 수준에 따른 이탈리아 라이그라스의 건물 수량은 화학비료구가 유의적으로 가장 높게 나타났고(11,965±564 kg/ha), 마분 퇴비 150%, 혼용구가 그 다음으로 유의적으로 높게 나타났으며(9,043±681 kg/ha, 8,825±611 kg/ha), 마분퇴비 100%, 50%가 그 다음으로 나타났다(4,293±804 kg/ha, 2,986±739 kg/ha)($p<0.05$). 용탈수의 분석항목 중 질산태 질소(NO₃-N)의 경우 3차 분석까지는 전체적으로 증가하다가 감소하는 경향을 보였고 마지막 6, 7차 분석 시에는 검출되지 않았다(Fig. 2). NO₃-N는 처리구 간에 유의적인 차이는 없었으나 수치적으로 마분 퇴비 150% 사용구에서 NO₃-N가 가장 많은 경향이 나타났고, 화학비료구와 혼용구는 수치적으로 마분 퇴비를 사용했을 때보다 적거나 비슷한 수준을 나타냈다. NO₃-N를 제외한 나머지 PO₄-P, Cr, Cu, Zn은 전 기간 거의 검출되지 않았다. 본 연구 결과를 종합했을 때 마분 퇴비를 사용할 때는 기비로 마분 퇴비를 질소 기준 50%수준 시비하고 이듬해 봄 추비로 화학비료를 나머지 50% 수준으로 시비하면 수량이 크게 떨어지지 않으면서 수질 오염에도 상대적으로 적은 영향을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

V. 사 사

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(세부과제명 : 조사료 생산을 위한 마분퇴비 사용수준 설정 연구, 세부과제번호 : PJ01388102)의 지원에 의해 이루어졌다.

VI. REFERENCES

- Annicchiarico, G., Catemolo, G., Rossi, E. and Martiniello, P. 2008. Effect of manure vs. fertilizer input on productivity of forage crop models. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 8:1893-1913.
- AOAC. 2011. Association of official and analytical chemists. *Official methods of analysis*(18th ed.).
- Basso, B. and Ritchie, J.T. 2005. Impact of compost, manure and inorganic fertilizer on nitrate leaching and yield for a 6-year maize-alfalfa rotation in Michan. *Agriculture Ecosystem & Environment*. 108:329-341.
- Choi, G.J., Choi, K.C., Hwang, T.Y., Lee, G.W., Kim, J.H., Kim, W.H., Lee, E.J., Sung, K.I. and Jung, J.S. 2018. Effect of different in cold-tolerance of variety on forage productivity of Italian ryegrass in middle region of Korea. *Journal of Korean Society of Grassland and Forage Science*. 38(4):210-216.
- Goering, H.K. and Van Soest, P.J. 1970. Forage fiber analysis. *Agric Handb.* 379. US Department of Agriculture, Washington, DC.
- Hepperly, P., Lotter, D., Ulsh, C.Z., Seidel, R. and Reider, C. 2009. Compost, manure and synthetic fertilizer influences crop yields, soil properties, nitrate leaching and crop nutrient content. *Compost Science and Utilization*. 17(2):117-126.
- Hwang, K.S., Ho, Q.S. and Yoo, B.S. 2004. Aspects of nutrient transportation after animal manure application in Jeju field soil. *Korean Journal of Environmental Agriculture*. 23(3):133-137.
- Hwang, K.S., Ho, Q.S., Kim, H.D. and Choi, J.H. 2002. Changes of electrical conductivity and nitrate nitrogen in soil applied with livestock manure. *Korean Journal of Environmental Agriculture*. 21(3):197-201.
- Ji, H.C., Whang, T.Y., Lee, K.W., Kim, W.H., Woo, J.H., Hong, K.H. and Choe, K.W. 2019. Growth characteristics and productivity of Italian ryegrass(*Lolium Multiflorum* Lam.) new variety, 'Green Call 2ho'. *Journal of Korean Society of Grassland and Forage Science*. 39(3):121-126.
- Kang, B.K., Park, Y.M. and Kang, Y.K. 2001. Nutrient uptake and leaching under different fertilizer treatment for corn and potato growth in volcanic ash soil. *Korean J. Crop. Sci.* 46(3):253-259.
- Kim, K.Y., Choi, G.J., Lee, S.H., Hwang, T.Y., Lee, G.W., Ji, H.C. and Park, S.M. 2016. Growth characteristics and dry matter yields of domestic and foreign Italian ryegrass(*Lolium Multiflorum* Lam.) cultivars in Cheonam region. *Journal of Korean Society of Grassland and Forage Science*. 36(4):280-286.
- Kim, M.J., Peng, J.L. and Sung, K.G. 2019. Causality between climatic and soil factors on Italian ryegrass yield in paddy field via climate and soil big data. *Korean Journal of Animal Science and Technology*. 61(6):324-332.
- Ko, K.H., Kim, J.K. and Kim, J.D. 2015. Evaluation of agronomic characteristics and forage production of domestic and foreign Italian ryegrass cultivar in Korea. *Journal of Korean Society of Grassland and Forage Science*. 35(4):297-302.
- Korea Racing Authority. 2018. 2017 report for current status of horse industry.

- Kwon, Y.U., Baek, S.B., Heo, H.Y., Park, H.H., Kim, J.G., Lee, J.E., Lee, C.K. and Shin, J.C. 2008. Changes in forage quality of plant parts with harvesting time in five winter cereal crops. *Korean Journal of Crop Science*. 53(2):193-198.
- Kwon, S.K., Yu, M.J., Jung, T.M. and Kim, M.S. 1997. Nitrate removal in rural groundwater using ion exchange resin. *Korean Journal of Environmental Agriculture*. 16(2):193-198.
- Ministry of Environment. 2004. Test method of water pollution.
- Ministry of Environment. 2015. Animal manure statistics.
- Park, J.G., Kim, J.D. and Kwon, C.H. 2006. Effects of liquid manure source, application rate and time on agronomic characteristics and forage yield of winter rye. *Korean Journal of Grass Science*. 26(4):227-232.
- R ver 3.0.3. 2014. The R foundation for statistical computing platform.
- Rural Development Administration. 2006. Test method of animal manure characteristics.
- Shin, Y.H. and Kim, H.O. 1975. Characteristics of volcanic ash soil. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 8(3):113-119.
- Yoo, S.H. and Song, K.C. 1984. Chemical characteristics of soils in Cheju island. *Korean Soc. Soil. SCI. Fert*. 17(1):1-6.
- Yook, W.B., Kim, B.J., Choi, K.C. and Kwak, B.K. 2002 effects of applications of swine waste and chemical fertilizer on productivity of silage corn and nitrogen and phosphorus leaching water. *Korean Journal of Grass Science*. 22(2):85-92.

(Received : May 21, 2020 | Revised : June 24, 2020 | Accepted : June 25, 2020)