

경사지에 따른 우분 액비의 시용이 목초의 생산성 및 양분의 유실에 미치는 영향

정민웅 · 최기춘 · 윤 창* · 김원호** · 육완방

Effects of Cattle Slurry Application According to the Slopes on Forage Yield and Nutrient Runoff in Mixed Grassland

Min Woong Jung, Ki Choon Choi, Chang Yoon*, Won Ho Kim** and Wan Bang Yook

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the effects of the degree of slope according to cattle slurry (CS) application on productivity of herbage yield and nutrients runoff in mixed grassland. silage corn and environmental pollution in silage corn cultivation soil. Field study was conducted on the steel-made erosion apparatuses which consisted of various degree of slope, such as 0%, 8.75% and 17.50%. Dry matter yield and N yield of forages decreased as the degree of the slope increased, whereas N contents increased as the degree of slope increased. $\text{NO}_3\text{-N}$ and $\text{PO}_4\text{-P}$ concentrations from the surface run-off significantly elevated by increasing the slope during the experimental period ($P < 0.05$). However, $\text{NO}_3\text{-N}$ and $\text{PO}_4\text{-P}$ concentrations $\text{PO}_4\text{-P}$ content from the surface run-off by application of CS maintained a low levels during the experimental period.

In conclusion, corn productivity and nutrient losses from run-off are significantly affected by heavy rainfall on the sloping land. The results of this study suggest that CS application in the sloping land can be an important source of pollution for surface water if intensity rainfall takes place within a short period.

(Key words : Forage productivity, Cattle slurry, Surface run-off, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$)

I. 서 론

가축분뇨는 식물 생장에 필요한 질소(N), 인(P), 칼륨(K) 등을 공급하는 좋은 비료원으로, 토양의 지력을 증진시키고(Sommerfeld 등, 1988; Campbell 등, 1986), 토양의 물리화학적 조성을 변화시키기 때문에 친환경 농업으로서 가축분뇨의 중요성이 부각되고 있다(신 등 1998; Sommerfeldt 등, 1988). 가축분뇨의 시용에 따

른 N의 이용 효율은 작물의 양분 요구량과 가축분뇨의 시용시기, 시용수준이 일치해야 효과가 크게 나타나며 또한 가축분뇨에 포함된 유기물질의 분해과정은 일반적으로 1년 이상 걸리기 때문에, 가축분뇨를 시용한 다음 해에 잔여질소효과(Residual nitrogen effect)를 나타내며(Werner 등 1985; Dilz 등 1990), 가축분뇨의 반복적인 시용은 잔여질소효과를 촉진시켜 결과적으로 질소의 이용 효율을 크게 향상시킨다

건국대학교 축산대학 동물생산·환경학 전공(Dep. of Animal Sciences Environment., College of Animal Husbandry, Kon-Kuk University, Seoul 143-701, Korea)

* 익산대학(Iksan National College)

** 축산연구소(National Livestock Research Institute, RDA, Suwon, 441-350, Korea)

Corresponding author : Dr. Wan Bang Yook, College of Animal Husbandry, Kon-Kuk University, Seoul 143-701, Korea. Phone:82-2-450-3699. Fax:82-2-455-1044. E-mail:wbyook@konkuk.ac.kr.

(Whitmore와 Schröder, 1988; Dilz 등 1990).

그러나 가축분뇨는 다량의 유기 및 무기 영양소를 많이 함유하고 있어 이의 과도한 사용은 오히려 환경오염을 일으키는 오염원으로 작용할 가능성을 가지고 있기 때문에 사용 적정량의 규명은 대단히 중요하다(육 등, 2000; 육 등, 2003; 육 등, 2005). Mulla 등 (2001)의 보고에 의하면 가축분뇨의 과다 사용과 사용방법이 잘못 될 경우에 유거수나 용탈수에 의해 양분의 유실이 일어나 지하수나 하천수의 부영양화에 영향을 미친다고 보고하고 있다. 또한 Pote 등(1996)은 가축분뇨의 과다사용은 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 용탈을 촉진하여 하천이나 지하수를 오염시키거나 식수로서 체내에 함께 흡수되어 유아에게는 methemoglobin 혈증을 유발하여 질식사의 위험이 될 수 있다고 보고하고 있어(Bewig, 1976), N의 효율적인 이용기술(Selenka, 1982), 즉 적정 사용기준의 설정은 필수적이다. 유럽 국가들의 경우 무분별한 가축분뇨의 사용에 따른 환경오염을 줄이기 위해 가축분뇨의 사용시기나 사용수준을 법규로 규제하고 있으며(Onenmae 등, 1998), $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 용탈을 피하기 위해 봄철의 사용을 권장하고 있다. 또한, 가축분뇨에 포함된 P의 지속적인 사용은 토양의 P를 높이고(Baber, 1979; Sutton 등, 1982; Sutton 등, 1986), 용탈 및 농업 배출수에서 P의 잠재적 유실을 증가 시키므로(Pote 등, 1996; Sims 등 1998), 수질에 P는 민물 생태계에서 부영양화의 주요 요인으로 작용한다고 제시하고 있다(Corell, 1988).

우리나라의 경우 국토의 70% 가량이 구릉과 산지이며, 경사 7% 이상의 밭 면적이 전체 밭의 60%로 경운 재배 시 토양유실과 양분의 유실로 심각한 문제를 발생시킬 수 있다. 특히 몬순지역인 우리나라는 여름작물이 생육하는 6~8월에 집중호우가 많이 발생하는데, 기후조건이 여름철에 집중되는 강우형태를 보여, 이

에 따른 경사지에서의 과도한 토양유실 및 양분의 유실에 의한 생산성 저하 및 양분의 유실에 따른 수질오염 등 여러 가지 면에서 심각한 문제점을 일으킬 수 있어 이에 대한 대책이 시급한 상황이다(Jung 등, 1998, 1999; Lee 등, 1998). 또한 Chichester (1977)의 연구에 의하며, lysimeter에서 실시한 4년간의 시험에서 비료의 살포 후 강우가 집중되는 여름철에 유거수에 의한 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 유실이 가장 많이 일어난다고 보고하고 있으며, 유거수에 의한 양분유실량은 옥수수 재배지에서 10kg N/ha, 초지에서 1kg N/ha로 토양의 피복도가 증가할수록 감소한다고 하였다.

지금까지 우리나라는 목초나 사료작물의 생산성 향상을 위한 분뇨사용량 규명에 관한 연구가 대부분이지만(육, 2003; 임 등, 2003), 근래 환경오염에 관한 인식이 새로워짐에 따라 가축분뇨의 비료성분에 관한 이동시스템에 많은 관심을 가지게 되었다. 따라서 본 연구는 경사도를 달리한 초지에서 우분액비의 사용이 초지의 생산성 및 유거수 중의 N과 P의 유실에 미치는 영향을 조사하여, 가축분뇨의 이용성 증대와 환경보전 대책 마련에 그 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

본 시험은 2004년 9월 1일 부터 2005년 9월 30일까지 건국대학교 축산대학 초지 및 사료작물 시험포 내 설치된 erosion apparatuses (0.33×3m) 장치를 이용하여 수행하였다. 시험에 사용된 토양은 사양토이며 성분은 Table 1과 같으며, 시험 기간 동안의 기상 조건은 Fig. 1과 같다. 시험기간 동안 서울지역의 강수량을 보면, 2005년 6~9월의 총 강수량은 1,036 mm로 연간 강수량 1,563 mm의 66%가 집중되었다.

초지조성은 2004년 9월 1일에 Orchardgrass

Table 1. Chemical characteristics of the soil used in this experiment

pH (1:5H ₂ O)	OM ¹⁾ (%)	P ₂ O ₅ (ppm)	Exchangeable Cations (mg/100g)				CEC ²⁾ (me/100g)
			K	Ca	Mg	Na	
6.70	0.57	51.48	2.81	7.20	0.14	0.05	1.32

¹⁾ OM : organic matter

²⁾ CEC : cation exchange capacity

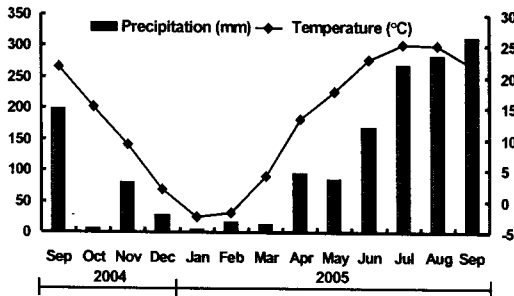


Fig. 1. Meteorological information during the experimental periods.

17 kg, Tallfescue 13 kg, Kentucky bluegrass 5 kg의 비율로 ha 당 35 kg을 파종하였으며, 시험구의 면적은 1m²(0.33×3m)로 하였다.

시험구는 경사도별로(경사도 0%, 8.75%, 17.50%) 난괴법으로 3 반복 배치하였으며, 가축분뇨의 사용은 6개월 이상 완전 부숙된 우분액비로 전질소 함량 0.35%, 수분이 95% 이상인 것을 N 기준으로 200 kg/ha를 파종 일주일 전인 8월 25일에 사용하였다. 시비 시기는 파종 일주일 전과 1번초 예취후로 2회 분할 사용하였다. 목초는 3회 예취(5/20, 7/21, 9/28)하여 생초수량을 측정하였고, 단백질은 AOAC(1993)번에 의거하여 분석하였다. 유거수는 강우시 마다 채취하였으며, 채취한 시료는 24시간 안에 FIAStar5000 Analyzer(Foss Tecator, Sweden)를 이용하여 NO₃-N, PO₄-P의 농도를 분석하였다. 통계분석은 Windows용 SPSS/PC(Statistical Package for the Social Science, ver 12.0. USA) 통계 프로그램을 이용하여 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 목초의 생산성

혼파초지에서 우분액비의 사용에 따른 경사도별 목초의 생산성은 Table 2에서 보는 바와 같다. 먼저 경사도별 목초의 건물생산량은 0% (평지), 8.75%, 17.5%로 경사도의 증가와 비례하여 유의적으로 감소하는 경향을 보였으며 (p<0.05), 8.75%와 17.5%의 차이가 48 g/m²로 평지와 8.75%의 차이 118 g/m²으로 경사도가 증가할수록 수량의 감소폭이 더 많은 것으로 나타났다.

경사도별 N 생산량은 건물생산량과 같이 감소하는 경향을 보였으나, 평지 12.49 g/m²(100%) 보다 경사지 8.75%에서 11.29 g/m²(90%), 17.50%에서 10.56 g/m²(84%)로 통계적인 유의차는 없었다. 반대로 N 함량은 경사도가 증가할수록 약간 증가하는 경향을 보였으나 평지와 경사도 18.7%에서 각각 1.53%(100%)와 1.63%(107%)로 차이가 미미하였다.

이와 같이 경사도 증가에 따른 건물생산량과 N 생산량이 감소하는 경향은 강우시 경사도가 증가할수록 상대적으로 양분의 유실이 많이 일어나 토양유실 및 양분의 유실에 의해 작물의 생육이 저하되었기 때문이라는 연구 결과들과 유사한 경향을 보였다(Jung 등, 1998, 1999; Steenvoorden 1988; Bakhsh 등 2005). 반면에 경사도가 증가할수록 N 함량의 약간 증가하는

Table 2. Effects of cattle slurry application according to the slopes on dry matter, N yield and N content of forage in mixed grassland

	1st cut	2nd cut	3rd cut	Total
..... DM yield (g/m ²)				
0 %	338±36	295±14	180±10	813±71.0a
8.75%	246±25	273±20	177±13	695±18.5ab
17.50%	220±26	263±32	163±25	647±73.5b
..... N yield (g/m ²)				
0 %	4.96±0.87	4.06±0.60	3.19±0.46	12.49±1.96
8.75%	3.60±0.67	4.10±0.65	3.36±0.25	11.29±1.39
17.50%	3.35±0.64	3.70±0.01	3.17±0.42	10.56±1.49
..... N content (%)				
0 %	1.46±0.11	1.37±0.14	1.77±0.20	1.53±0.15
8.75%	1.46±0.18	1.50±0.15	1.91±0.25	1.62±0.19
17.50%	1.51±0.12	1.42±0.16	1.95±0.14	1.63±0.08

The data represent the means ±SD of the three experiments. a, b, c; Different letters within each slope represent significant differences (p<0.05).

경향을 보였는데, 이는 작물의 높은 생산성은 상대적으로 식물체내의 낮은 N 함량이 가져온다는 Plant Dilution Effect의 영향으로 생각된다 (Lafond, 1996). 따라서 여름철 집중 강우가 내리는 시기를 피해 가축분뇨를 사용하여 작물의 양분 이용 효율을 높이는 시비 방법의 개선이 필요할 것으로 생각된다.

2. 유거수 중의 NO₃-N, PO₄-P의 농도 변화

혼파초지에서 우분액비의 시용한 따른 경사도별 유거수 중의 NO₃-N 평균농도와 년 중 농도의 변화는 Fig. 2, 4에서 보는 바와 같다. 먼저 경사도별 NO₃-N의 평균농도는 0%(평지), 8.75%, 17.5%로 경사도의 증가할수록 각각 1.59, 1.88, 2.30 mg/L로 유의적으로 증가하는

경향을 보였으며(p<0.05), 17.5% 경사지에서 평지보다 45% 더 높은 농도를 나타냈다. 년 중 NO₃-N의 함량 변화를 보면, 시험 전 기간에 걸쳐 5 mg/L를 넘지 않았으며, 우분액비 살포 후 처음 시료를 채취했을 때 4.18 mg/L로 가장 높은 농도를 나타냈다.

우분액비의 시용에 따른 경사도별 유거수 중의 PO₄-P의 평균농도와 년 중 농도의 변화는 Fig. 3, 5에서 보는 바와 같다. 경사도별 PO₄-P의 평균농도는 0%(평지), 8.75%, 17.5%로 경사도의 증가할수록 증가하는 경향을 보였으며, 경사도 17.5%에서 0.51 mg/L로 평지의 0.14 mg/L와 8.75%의 0.19 mg/L 보다 유의적으로 증가하였다(p<0.05). 년 중 PO₄-P의 농도는 시험 전 기간에 걸쳐 2 mg/L를 넘지 않았으며, 최고 농도는 1.56 mg/L로 일정한 경향을 나타내지는

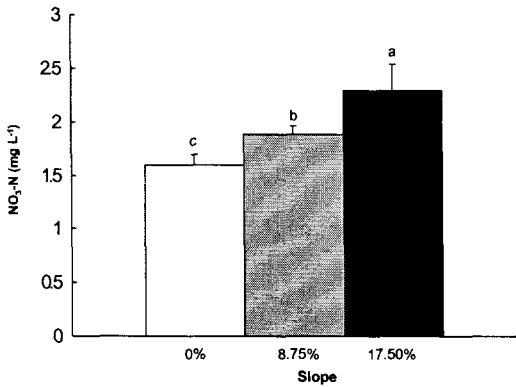


Fig. 2. Effects of the degree of slope on NO₃-N concentration by cattle slurry application. The data represent the means ± SD of the three experiments. a, b, c; Different letters within each slope represent significant differences (p<0.05).

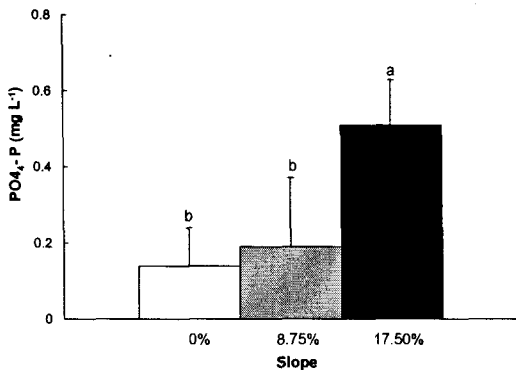


Fig. 3. Effects of the degree of slope on PO₄-P concentration by cattle slurry application. The data represent the means ± SD of the three experiments. a, b, c; Different letters within each slope represent significant differences (p<0.05).

않았다.

결과에서 나타난 바와 같이 초지에서 우분액비의 시용시 유거수 중의 양분 유실량은 상대적으로 작았으며, 분뇨시용 후 첫 번째 수집한 유거수에서 높게 나타나, 가축분뇨 살포 후 강우 시 양분의 유실에 높게 나타난다는 Wester-

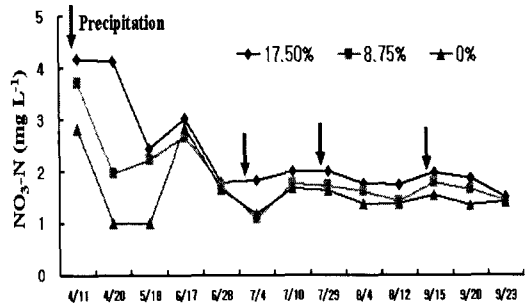


Fig. 4. Changes in NO₃-N concentration in runoff water according to the slopes by cattle slurry application.

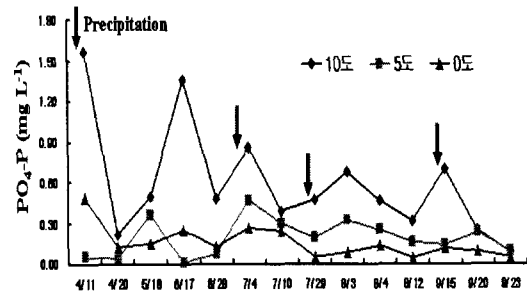


Fig. 5. Changes of PO₄-P concentration in runoff water according to the slopes by cattle slurry application.

man 등 (1987)의 연구결과와 같은 경향을 나타내었다. PO₄-P의 양분 유실은 NO₃-N 수준보다 낮은 농도를 보였으며, 또한 NO₃-N의 용탈 경향과는 달리 일정한 경향이 나타나지 않았다. 이러한 경향은 일반적으로 가축분뇨 화학성분의 P의 약 80% 정도가 수용성 무기태 인산이며 그 외의 P의 조성 형태는 유기물과 결합되어진 피틴태 인산으로 토양속의 미생물에 의해 식물체가 이용할 수 있도록 P를 전환되는 것으로 보고되고 있다(Turner 등, 2005).

이상의 NO₃-N, PO₄-P의 용탈량 결과를 종합해 보면, 경사지 혼파초지에서 우분액비의 시용은 강수량이 집중되는 시기의 양분의 유실은 가져왔으며, 경사도가 증가함에 따라 양분유실이 많아져 비록 그 농도가 높지는 않았지만 최고 농도는 유거수중의 양분 유실로 인한 수질

오염의 가능성을 나타내었다. 따라서 가축분뇨의 이용성 효율과 환경오염을 최소화하기 위해서는 분뇨의 사용시기와 사용시 기비 및 추비량을 적절히 분배함으로써 강우 시 지하수 및 하천으로 유실되는 양분에 의한 환경오염을 방지해야 할 것이라고 생각된다.

IV. 요 약

본 연구는 경사도를 달리한 혼파초지에서 우분액비의 사용이 초지의 생산성 및 유거수 중의 N과 P의 유실에 미치는 영향을 조사하기 위하여, 건국대학교 축산대학 초지 및 사료작물 시험포 내 설치된 Erosion apparatuses를 이용하여 수행하였다. 시험구의 경사도는 0%, 8.75%, 17.50%로 하였으며, 초지조성은 Orchardgrass 17 kg, Tallfescue 13 kg, Kentucky bluegrass 5 kg의 비율로 ha 당 35 kg을 파종하였으며, 얻어진 결과는 다음과 같다. 목초의 건물생산량과 질소생산량은 경사도가 증가할수록 감소하였으나, 질소 함량은 경사도가 증가함에 따라 약간 증가하였다. 유거수 중의 NO₃-N, PO₄-P의 평균 농도는 경사도가 증가할수록 유의적으로 증가하였으나, 년중 농도 변화의 경우 NO₃-N 일정한 경향을 나타내지 않았으나 우분액비 살포 후 처음 수집한 유거수 중의 농도가 높게 나타났다. 년 중 PO₄-P의 농도는 시험 전 기간에 걸쳐 2 mg/L를 넘지 않았으며, 최고 농도는 1.56 mg/L로 일정한 경향을 나타내지는 않았다. 전체적인 양분의 유실의 변화는 비료 살포 후 첫 강우 시 높게 나타났으며, 여름철 강우가 집중되는 시기에는 상대적으로 농도가 낮았는데, 이는 집중 강우로 인해 유거수의 양이 많아져 양분의 농도가 희석된 것으로 생각된다. 이상의 결과에서 우리나라와 같이 경사지가 많고 여름철에 강우가 집중되는 환경에서, 경사지에서 우분액비의 사용은 양분의 유실로 인한

수질오염과 이에 따른 초지의 생산성 저하를 가져올 수 있는 것으로 사료된다. 따라서 여름철 집중 강우가 내리는 시기를 피해 우분액비를 사용하여 작물의 양분 이용 효율을 높이고 유거수 중의 양분 유실을 방지하는 시비 방법의 정립이 필요할 것으로 생각된다.

V. 인 용 문 헌

1. 신동은, 김동암, 신재순, 송관철, 이종경, 윤세형, 김원호, 김정갑. 1998. 추파용 호밀에 대한 액상구비 시비 연구. II. 무기물 함량, N 생산량 및 토양환경에 미치는 영향. 한국초지학회지. 18(3): 243-250.
2. 육완방, 안승현, 최기춘. 2000. 경사지에 대한 가축분뇨 사용시 옥수수의 생산성과 양분유실에 관한 연구. 한국초지학회지, 2(1):31-40.
3. 육완방. 2003 가축분뇨의 처리형태와 사용수준이 영년초지의 생산성, 지력증진 및 환경에 미치는 영향. 한국초지학회지. 23(3):193-202.
4. 육완방, 최기춘. 2005. 경사도와 분뇨의 처리 형태가 옥수수의 생산성과 양분의 유실에 미치는 영향. 한국초지학회지. 25(2):89-96.
5. 임영철, 윤세형, 김종근, 김원호, 김맹중, 신재순, 정의수, 이종경, 신동은. 2003. 돈분액비 사용수준이 호밀의 수량 및 사료가치에 미치는 영향. 한국초지학회지. 23(권):293-298.
6. AOAC. 1993. Official methods of analysis(14th ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
7. Bewig, F. 1976. Hygienische Bedeutung der Nitrate unter Berücksichtigung der Belastung des Grundwasser im Bereich des Wasserwerks Mussum., Forschung u. Beratung, Reihe C, 30: 91-94.
8. Bakhsh, A., R.S. Kanwar and D.L. Karlen. 2005. Effects of liquid swine manure applications on NO₃-N leaching losses to subsurface drainage water from loamy soils in Iowa. Agr. Ecosyst. Environ. 109:118-128.
9. Barber, S.A. 1979. Soil phosphorus after 25 years

- of cropping with five rates of phosphorus application. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 10: 1459-1468.
10. Campbell, C.M., M. Schnitzer, W.B. Stewart, J.V.O. Biederbeck and F. Selles. 1986. Effect of manure and fertilizer on properties of a Black Chernozem in southern Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.* 66:601-613.
 11. Chichester, F.W. 1977. Effects of increased fertiliser rates on nitrogen content of run-off and percolate from monolith-lysimeters. *J. Environ. Qual.*, 6:21 21-217.
 12. Corell, D.L. 1998. The role of phosphorus in eutrophication of receiving waters: A review. *J. Environ. Qual.* 27:261-266.
 13. Dilz, K., K.J. Postmus and W.H. Prins. 1990. Residual effect of long term applications of farmyard manure to silage maize. *Fertilizer Research* 26:249-252.
 14. Jung, Y.S., Y.K. Kwon, H.S. Lim, S.K. Ha and J.E. Yang. 1999. R and K factors for an application of RUSLE on the slope soils in Kangwon-do, Korean Soc Sci. Fert. 32:31-38.
 15. Jung, Y.S., J.E. Yang, C.S. Park, Y.K. Kwon and Y.K. Joo. 1998. Changes of stream water quality and loads of N and P from the agricultural watershed of the Yulmoonchon tributary of the Buk-Han river basin. *J. Korean Soc Sci. Fert.* 31:170-176.
 16. Lafond, Guy P. 1996. Can late applications of nitrogen increase yield and grain protein in spring wheat. The Newsletter of the Saskatchewan Soil Conservation Association. Online. Available: <http://ssca.usask.ca/newsletters/issue17/Nitrores.html>
 17. Lee, N.J., S.J. Oh and P.K. Jung. 1998. Soil loss and water runoff in a watershed in Yeosu. *Korean Soc Sci. Fert.* 32:210-215.
 18. Mulla, D.J., A.S. Birr, G. Randall, J. Moncerief, M. Schmitt, A. Sekely and E. Kerre. 2001. Impacts of Animal Agriculture on Water Quality: Technical Work Paper. Minnesota Environmental Quality Board, Minnesota Planning (Agency), St. Paul, MN. (Also Online. Available: http://mnplan.state.mn.us/eqb/geis/TWP_Water.pdf)
 19. Oenema O., C.M. BoersP., M.M. Van Eerd, B. Fraters, H.G. Vander Meer, C.W.J. Roset, J.J. Schroderand and Willems W.J. 1998. Leaching of nitrate from agricultures in the Netherlands. *Environmental Pollution*, 102 (Suppl. 1), 471-478.
 20. Pote, D.H., T.C. Daniel, A.N. Sharpley, P.A. Moore, D.R. Edwards, and D.J. Nichols. 1996. Relating extractable soil phosphorus to phosphorus losses in runoff. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:855-859.
 21. Selenka, F. 1982. Gesundheitliche Aspekte Von Nitrit, Nitrit und Nitrosaminen., Vortrag auf der wasserfachlichen Aussprachetagung in Hamburg am 2. 3.
 22. Sims, J.T., R.R. Simard, and B.C. Joern. 1998. phosphorus loss in agricultural drainage: Historical perspective and current research. *J. Environ. Qual.* 27:277-293.
 23. Sommerfeldt, T.G., C. Chang, and T. Entz. 1988. Long-term annual manure applications increase soil organic matter and nitrogen and decrease carbon to nitrogen ratio. *Soil Sci. Soc. AmJ.* 52:1667-1672.
 24. Steenvoorden, J.H.A.M. 1988. How to reduce nitrogen losses in intensive-grassland management. In: Eijsackers, H. and Quispel, A (eds) *Ecological Implications of Contemporary Agriculture. Ecological Bulletins* 39, 126-130.
 25. Sutton, A.L., D.W. Nelson, J.D. Hoff and V.B. Mayrose. 1982. Effects of injection and urface applications of liquid swine manure on corn yield and soil composition. *J. Environ. Qual.* 11:468-4s72.
 26. Sutton, A.L., D.W. Nelson, D.T. Kelly and D.L. Hill. 1986. Comparison of solid vs. liquid dairy manure applications on corn yield and soil composition. *J. Environ. Qual.* 15:370-375.
 27. Turner, B.L., E. Frossard and D.S. Baldwin. 2005. Organic phosphorus in the environment. Wallingford, UK; Cambridge, MA: CABI Pub. pp. 89-

- 112.
28. Werner W., H.W. Scherer and D. Drescher. 1985. Untersuchungen über den Einfluss langjähriger Gülledüngung and N-Fractionen und N- Nachlieferung des Bodens. Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau 155:137-144.
29. Whitmore, A.P. and J.J. Schröder. 1996. Modelling the change in soil organic C and N in response to application of slurry manure. Plant and Soil 184:185-194.
30. Westerman, P.W., L.D. King, J.C. Burns, G.A. Cummings and M.R. Overcash. 1987. Swine manure and lagoon effluent applied to temperate forage mixture: II Rainfall run-off and soil chemical properties. J. Environ. Qual., 16, 106-12.