

사료작물 재배지에서 초지식생대가 PO₄-P 및 토양유실 저감에 미치는 영향

조남철¹ · 윤세형¹ · 김기용¹ · 이기원¹ · 김맹중¹ · 육완방² · 정민웅¹

Effect of Grass Filter Strips on PO₄-P and Soil Loss in Runoff from Forage Cropland

Nam Chul Jo¹, Sei Hyung Yoon¹, Ki-Young Kim¹, Ki-Won Lee¹,
Meng Jung Kim¹, Wan Bang Yook² and Min Woong Jung¹

ABSTRACT

The performance of grass filter strips (GFS) in reducing PO₄-P concentrations and soil loss from the forage cropland was tested in an experiment on the 10% slope in Grassland and Forages Division, National Institute of Animal Science, Rural Development Administration (RDA) from October 2007 to September 2009. Forage cropland with rye-corn double cropping system receiving inorganic fertilizer or livestock manure (LM) were compared in a natural condition. The plots were hydrologically isolated in a randomized block layout of 3 treatments × 2 factors × 3 replicates. Main plots consisted of the length of GFS, such as 25 m² (5×5 m), 50m² (5×10 m), 75m² (5×15 m). Sub plots consisted of the type of LM, such as chemical fertilizer (CF), cattle manure (CM) and swine manure (SM). Concentrations of PO₄-P in surface runoff water were reduced as the length of GFS increased. Especially, GFS with 10 m and 15 m reduced PO₄-P concentrations significantly compared to that with 0 m (p<0.05). However, there was not significant different between PO₄-P concentrations of GFS with 10m and that of GFS with 15 m. Moreover, Soil loss in surface runoff water were reduced as the length of GFS increased. GFS with 15 m reduced soil loss significantly compared to that with 5 m and 10 m (p<0.05). The results from this study suggest GFS improve the removal and trapping PO₄-P and soil loss from forage cropland.

(**Key words** : Grass filter strips, Runoff, Manure, PO₄-P, Soil loss)

I. 서 론

1980년대 이후 축산업이 규모화, 집단지향되면서 가축분뇨 발생량이 2009년 기준 43.7백만톤에 이르고 있다 (농림수산식품부, 2010). 이러한 가축분뇨는 환경오염원과 유기질 비료자원의 양면성을 지니고 있다. 즉, 가축분뇨는 식물의 영양소인 비료성분이 풍부하기 때문에 화학비

료를 대체할 수 있는 자원이며 (Zebarth 등, 1996; Jensen 등, 2000), 가축분뇨를 이용한 퇴비의 경우 토양의 지력을 증진시키고 (Campbell 등, 1986; 신 1998), 토양의 물리화학적 조성을 변화시키기 때문에 친환경 농업에서 중요한 유기질 비료로 인식되고 있다 (Sommerfeldt와 Chang, 1988). 하지만 무분별한 가축분뇨의 농경지 투입은 강우 시 가축분뇨 중의 오염물질

¹ 농촌진흥청 국립축산과학원 (National Institute of Animal Science, RDA)

² 건국대학교 (College of Animal Husbandry, Kon-Kuk University, Seoul)

Corresponding author : Min Woong Jung, National Institute of Animal Science, RDA, Cheon-an 331-808, Korea.

E-mail: mwjung@korea.kr, Tel: +82-41-580-6775.

의 유실로 인한 비점오염원으로 작용하고 있다. 농업에서 유래되는 비점오염원으로는 질소(N, nitrogen), 인(P, phosphorus)이 가장 대표적으로 가축분뇨에 포함된 질소-인 성분이 강우 시 불특정한 장소에서 유출되어 수계로 흘러 들어가 부영화를 일으키게 된다고 보고된 바 있다(Cooper와 Gilliam, 1987; Jacobs와 Gilliam, 1985).

특히 토양 환경적인 측면에서 인의 중요성이 대두되면서, Sharpley 등(1998)은 작물이 필요한 요구량 이상으로 돈분액비를 사용할 경우 수용성 $PO_4\text{-P}$ 의 용탈과 유실이 일어나 수질오염원이 될 수 있다고 보고하였다(Beckwith 등, 1998; Jensen 등, 2000). 일반적으로 인의 유실은 토양침식이나 유거수에 의해 일어나며(Kiely, 1997), Eghball 등(2002)은 가축분뇨를 사용한 구의 지표면 10 cm 토양내 수용성 인의 농도가 18.5 mg/kg으로 가축분뇨를 사용하지 않은 구의 7.3 mg/ha 보다 높게 나타났다고 보고하였다.

이러한 토양 및 인의 유실로 인한 수계의 오염을 방지하기 위한 대안으로는 수변구역 지역에 초지식생대를 조성하여 수계를 오염시키는 물질을 경제적으로 제거할 수 있다. 초지식생대를 이용한 수질관리는 유지관리비가 비교적 적게 들고 오염물질의 제거가 효과적으로 이루어진다는 장점이 있기 때문에 이와 관련된 연구가 국내외에서 활발히 진행되고 있다(Abuzeig 등, 2003; Dillaha 등, 1989; 김 등, 2006).

초지식생대의 작용은 유입된 강우 유출수를 여과대를 통해 흐르게 하여 유출속도를 감소시켜 토사, 유출물 등의 오염원을 물리적으로 여과, 침전, 흡수, 분해시키는 작용을 하고 그로 인해 수계로 유입되는 상당량의 오염물질을 줄일 수 있으며, 질소와 인 등의 오염물질을 식물체내로 흡수하기도 한다(Osborne 등, 1993; EPA, 2005). 초지식생대의 중요 영향인자에는 여과대 길이(Filter strips length), 기울기(Slope), 식생종류(Vegetation type) 등이 있으며(Abuzeig 등, 2003; Dorioz 등, 2006), 초지식생대는 단기간에 조성이 가능하고 여과효과도 가장 높

은 것으로 보고되고 있다(Strohmeier, 2002). 더욱이 우리나라의 밭 면적은 879천 ha로서 이중 경사 7% 이상의 경사지 밭 면적은 전국적으로 62%를 차지하고, 기후가 하절기에 집중되는 강우형태를 보이므로 경사지에서 초지식생대의 설치는 양분의 유실 등과 같은 사료작물 재배지로부터 발생하는 비점오염원을 저감할 수 있을 것으로 사료된다. 따라서 본 연구는 가축분뇨가 조사료 생산 시스템에 투입되어 생산성을 향상시키고 그에 따른 환경오염에서의 비점오염원의 배출을 줄이고자 초지식생대를 설치함으로써 초지식생대를 이용한 양분 유실방지에 미치는 영향을 구명하기 위하여 시험을 실시하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시험기간 및 장소

본 시험은 농촌진흥청 국립축산과학원 조사료과 시험포장(천안)에서 2007년 8월부터 2009년까지 9월까지(3년간) 수행하였으며, 시험포장은 경사가 약 10% 정도인 자연경사지를 이용하였다.

2. 시험포장의 설계 및 시비방법

(1) 시험포장의 설계

시험포장의 설계는 약 10% 경사지에 면적이 25 m^2 ($5\times 5\text{m}$), 50 m^2 ($5\times 10\text{m}$), 75 m^2 ($5\times 15\text{m}$)인 초지식생대를 조성하고 그 위에는 각각 면적이 100 m^2 ($5\times 20\text{m}$)인 사료작물 재배지를 조성하였다. 시험구의 배치는 분할구 배치법으로 처리는 초지식생대의 길이(5m, 10m 및 15m)를 주구로 하였으며, 가축분뇨의 종류(화학비료, 우분퇴비 및 돈분퇴비)를 세구로 하였다. 각 처리구 사이의 유거수의 교차 오염을 방지하기 위해 시험구 사이의 경계에는 가로, 세로가 각각 2 m, 0.3 m인 직사각형의 금속판(Metal border)을 사용하여 약 15 cm의 깊이로 토양에 묻어 시험구를 분리하였다.

(2) 사료작물의 재배 및 시비방법

본 시험에 이용한 사료작물 작부체계는 중부 지방의 대표적인 사료작물 작부체계인 호밀-옥수수 2모작 작부조합으로 이용하였다. 공시 품종으로 옥수수는 국내육성 품종인 광평옥, 호밀은 수입품종인 쿨그레이저 (Koolgrazer)를 이용하였다. 호밀의 파종은 2007년 10월 23일과 2008년 10월 15일에 실시하였고, 옥수수의 파종은 2008년 5월 14일과 2009년 5월 12일에 실시하였다. 대조구인 화학비료의 시비는 표준 사용량 (N-P₂O₅-K₂O)을 기준으로 ha당 옥수수는 200-150-150 kg, 호밀은 150-120-120 kg을 전량 기비로 사용하였으며, 가축분뇨의 시비는 화학비료구의 질소대비 100%를 전량 기비로 작물을 재배하기 1주일 전에 사용하였다.

3. 초지식생대 조성 및 관리

초지식생대는 우리나라의 중부지방의 권장 혼파조합인 오차드그라스 위주의 혼파조합으로 조성하였으며, 혼파조합은 ha당 오차드그라스 18 kg, 톨페스큐 10 kg, 켄터키블루그라스 3 kg, 페레니얼라이그라스 7 kg, 화이트크로버 2 kg의 비율로 파종하였다. 초지식생대의 파종은 2007년 8월 30일 실시하였으며, 초지 조성용 기비로 화학비료를 80-200-70 (N-P₂O₅-K₂O) kg/ha 살포하였다. 그 외에 관리용 비료는 주지 않았다. 초지의 예취 관리는 2008년도에는 3회 예취하였으며, 2009년도에는 2회 예취하였다. 초지의 1차 예취는 2007년 4월 22일에 목초가 출수기 단계에 있을 때 실시하였으며, 나머지 예취는 목초의 초장이 약 30 cm 정도 되었을 때 지상으로부터 약 10 cm 높이에서 예취하였다.

4. 수질 조사

(1) 유거수 채취

유거수 수집장치의 위치는 초지식생대에 설치하였으며, 0 m, 5 m, 10 m, 15 m 지점의 양쪽에 두 개씩 설치하였다. 유거수의 수집장치는 Kim 등 (2006)의 방법을 이용하여 PVC파이프

(Polyvinyl chloride pipe)로 제작하였다 (Fig. 1). 유거수의 수집은 2008년 7회 (6월 4일, 6월 20일, 7월 14일, 7월 21일, 8월 5일, 8월 19일, 8월 25일), 2009년 5회 (3월 23일, 7월 10일, 7월 15일, 7월 20일, 8월 17일) 실시하였으며 이는 전날 강우량이 충분하여 유거수 채취가 가능한 날짜에 맞추어 수행하였다.

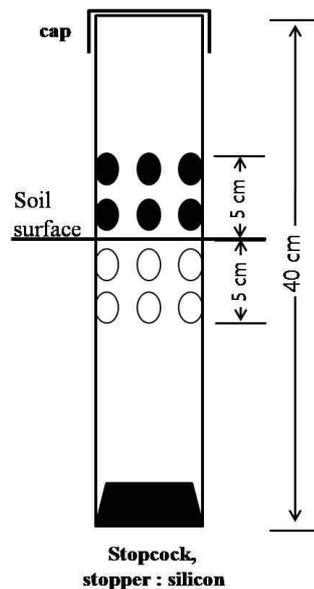


Fig. 1. The designs of different sampling wells used in the grass filter strips.

(2) PO₄-P 분석

유거수 수집장치에 수집된 유거수는 피펫으로 35~40 ml를 채취하여 냉장보관 (4℃)하여 24 시간 안에 분석하였다. 수질분석은 수질분석기 (HS-2300 Plus water analyzer-Humas, Korea)를 이용하여 PO₄-P의 농도를 측정하였다. 수질분석기의 측정원리는 수질오염공정시험법에 따라 발색시약 (Ascorbic acid)에 의한 흡광광도법으로 (환경부, 2007) 수질분석키트를 이용하여 측정하였다. 농도측정범위는 0.01~3 mg/L이었다.

5. 토양 유실량 측정

토양 유실량 측정을 위해 초지식생대의 끝부

분에는 Flow collector를 설치하고 토양 입자가 통과하지 않는 치밀한 망을 설치하여 시험구내에서 유실되는 토양을 수집할 수 있게 하였다.

6. 통계처리

본 시험에서 얻은 모든 결과는 윈도우 (Windows) 용 SPSS/PC (Statistical Package for the Science, ver 12.0. USA) 통계프로그램을 이용하여 분석하였다. 처리간의 평균비교는 two-way ANOVA test를 시행하였으며, 사후분석은 LSD 방법에 의해 유의수준은 $p < 0.05$ 로 평가하였다 (SPSS Inc, 1968).

III. 결과 및 고찰

1. 유거수 중의 PO₄-P 농도

초지식생대 길이에 따른 유거수 중의 PO₄-P의 농도 (Fig. 2)는 초지식생대의 길이가 길어질수록 줄어드는 경향을 보였으며, 가장 높은 농도를 나타낸 2009년 7월 10일의 경우에도 그 농도가 3 mg/L를 넘지 않았다. 또한 1차년도 보다는 2차년도의 유거수 중의 PO₄-P의 농도가

높은 경향을 나타내었다. 가축분뇨 시용에 따른 유거수 중의 PO₄-P 변화 (Fig. 3)는 화학비료구와 비슷한 경향을 보였으나 화학비료구의 경우 시용 후 초기에 가축분뇨보다 높은 농도를 나타내었다. 2008~2009년 2년에 걸친 초지식생대 길이에 따른 유거수 중의 평균 PO₄-P 농도 (Fig. 4)는 초지식생대를 거치지 않은 지점에 비해 초지식생대의 길이가 10 m 및 15 m 일 경우 PO₄-P의 농도가 유의적으로 감소하였으나 ($p < 0.05$), 초지식생대의 길이 10 m와 15 m 사이의 유실량의 유의적인 감소는 일어나지 않았다. 2008년도의 경우 초지식생대의 길이가 0 m, 5 m, 10 m, 15 m 길어질수록 년 평균 PO₄-P의 농도가 0.97, 0.67, 0.56, 0.46 mg/L로 감소하였으며, 초지식생대를 설치하지 않은 지점의 비해 초지식생대를 설치하였을 경우 모든 지점에서 PO₄-P의 농도가 감소하였다 ($p < 0.05$). 2009년도에는 초지식생대의 길이가 길어질수록 PO₄-P의 농도가 1.03, 0.91, 0.65, 0.59 mg/L로 감소하였으며, 초지식생대를 설치하지 않은 지점과 초지식생대의 길이가 10 m 및 15 m인 지점의 PO₄-P의 농도가 유의적 ($p < 0.05$)으로 감소하여 초지식생대의 설치가 수계로 유입되는 PO₄-P의 농도를 줄일 수 있는 것으로 나타났

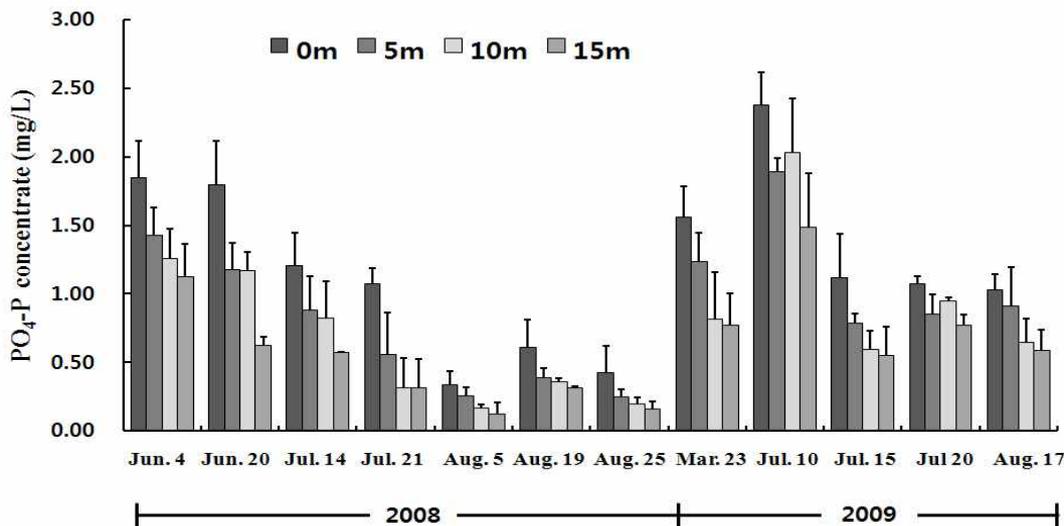


Fig. 2. Changes of PO₄-P concentration in surface runoff water by the length of grass filter strips. Values represent the means \pm SD of the three replicates. 0m, 5m, 10m and 15m : Length of grass filter strips.

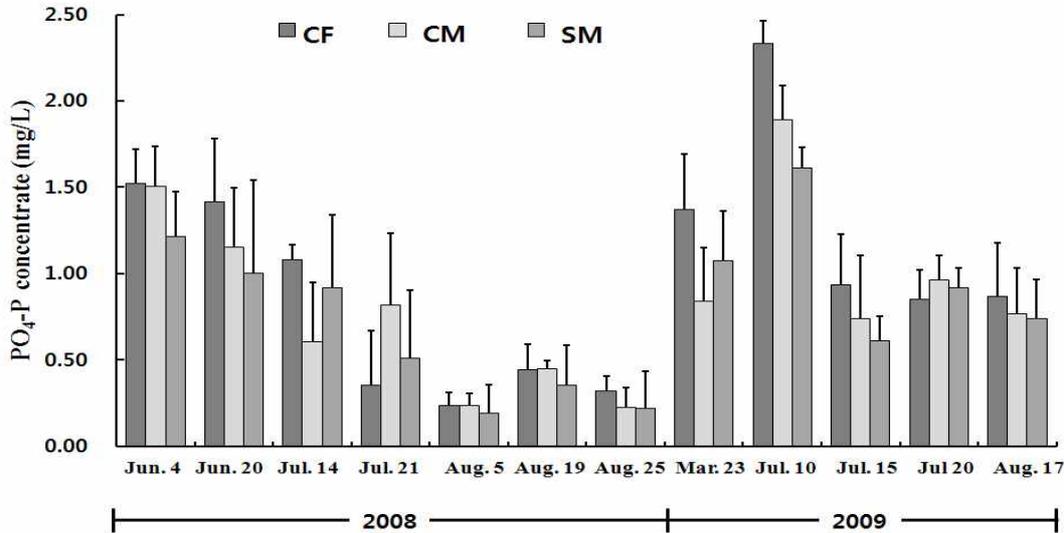


Fig. 3. Changes of PO₄-P concentration in surface runoff water composed of cattle manure, swine manure and chemical fertilizer. Values represent the means ± SD of the three replicates. CF: chemical fertilizer, CM: cattle manure, SM: swine manure.

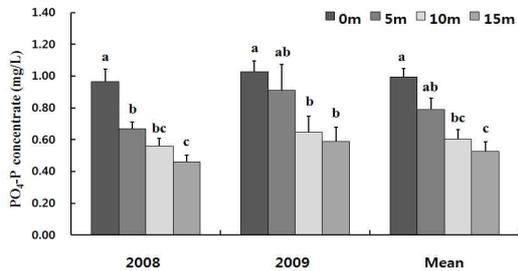


Fig. 4. Annual average PO₄-P concentration in surface runoff water by the length of grass filter strips. Values represent the means ± SD of the three replicates. ^{a,b and c}: Different letters within the same column represents significant differences at the 5% level. 0 m, 5 m, 10 m and 15 m: Length of grass filter strips.

다. 가축분뇨 사용에 따른 2008~2009년 평균 PO₄-P 농도(Fig. 5)는 화학비료 > 우분퇴비 > 돈분퇴비 순으로 높은 경향을 보였으나, 통계적인 유의성은 나타나지 않았다.

최근 가축분뇨의 자원화비율이 2009년 기준 85.6%(농림수산식품부, 2010)로 크게 증가하면서 유기질 비료자원으로 큰 역할을 하고 있

나, 작물이 필요한 요구량 이상으로 가축분뇨를 사용할 경우 수용성 PO₄-P 유실이 일어나 수질 오염원이 될 수 있다고 알려져 있다(Beckwith 등, 1998; Jensen 등, 2000). 특히 가축분뇨는 N·P·K 성분을 모두 가지고 있으나 실제 사용할 경우 작물의 질소 요구량을 기준으로 사용하는 경우가 많아, 유기질 P의 토양 축적을 가져오는데, 이는 가축분뇨의 N/P 비율이 대부분의 작물이 필요로 하는 N/P 비율보다 낮기 때문이라고 하겠다(Sharpley 등,

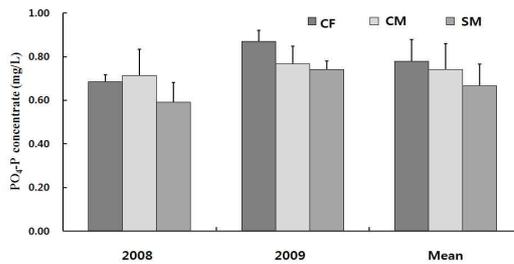


Fig. 5. Annual average PO₄-P concentration in surface runoff water composed of cattle manure, swine manure and chemical fertilizer. Values represent the means ± SD of the three replicates. CF: chemical fertilizer, CM: cattle manure, SM: swine manure.

1996; Wienhold, 2004). 본 시험에서도 가축분뇨를 질소기준으로 시용했을 경우 초지식생대의 설치가 사료작물 재배지로부터 유실되는 $PO_4\text{-P}$ 의 수계유입 농도를 줄일 수 있는 것으로 나타났으며, 이러한 결과는 초지식생대가 인의 유실을 줄이는 중요한 역할을 한다고 보고한 여러 연구자들의 결과와 일치하였다 (Heathwaite 등 1998; Ilkowska 등, 1995). 또한 Enhball 등 (2000)은 스위치그라스를 이용한 초지식생대 시험에서 경사가 약 12%인 옥수수 재배지에서 46.4 Mg/ha의 가축분뇨를 시용했을 경우, 초지식생대가 $PO_4\text{-P}$ 와 총 인(total phosphorus)의 유실을 각각 22%와 21% 저감시켰으며, Blanco-Canqui 등 (2004)는 Fescue를 파종한 초지식생대가 약 62%의 $PO_4\text{-P}$ 를 감소시켰다고 보고하여, 본 연구의 결과를 뒷받침하였다. 초지식생대에 의한 $PO_4\text{-P}$ 의 유실 저감효과는 초지식생에 의한 흡수 이용, 그리고 토양 또는 유기물에 흡착되어 수계로 유입되는 양이 줄어드는 데서 기인하며 (Lowrance, 1992), 인은 토양입자에 강력하게 흡착된 상태로 존재하며 (James 등, 1996; Kiely, 1997), 토양침식이나 유거수에 의해 유실이 일어난다고 (Kiely, 1997) 알려져 있다.

가축분뇨 시용 후 첫 번째 샘플 채취 시기와 여름철 집중호우가 쏟아지는 시기에 $PO_4\text{-P}$ 의 유실량이 많았는데, 이는 농경지로부터 발생하는 $PO_4\text{-P}$ 의 유실의 경우 약 70% 정도가 집중강우에 의해 발생하며, 나머지는 일반적인 강우에 의한 유거수에 의해 유실되며 (Pionke 등 1996), 비료 시용 후 일주일 안에 약 42%가 유실된다는 스코틀랜드의 Hooda 등 (1997)의 연구와 유사한 결과를 일치하였다.

2. 토양 유실량

사료작물 재배지에서 초지식생대 설치에 따른 토양 유실량의 변화를 조사한 결과는 Fig. 6와 같다. 토양유실은 2년 동안 6회에 걸쳐 조사하였는데, 유실되는 양은 강우의 영향을 많이 받았으며, 초지식생대의 길이가 길어질수록 토양 유실량이 줄어드는 경향을 보였다. 2년

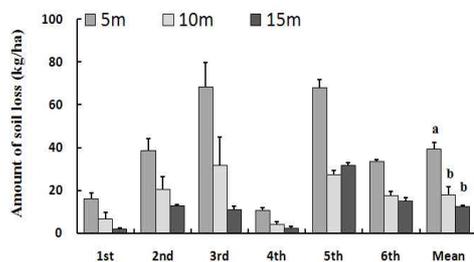


Fig. 6. Effect of the length of grass filter strip on amount of soil loss during the experimental period. Values represent the means \pm SD of the three replicates. ^{a,b}: Different letters within the same column represents significant differences at the 5% level. 0 m, 5 m and 10 m: Length of grass filter strips.

동안 평균 토양 유실량은 초지식생대의 길이가 5 m, 10 m, 15 m로 길어질수록 감소하였으며, 5 m 및 10 m에 비해 15 m 지점에서 유의적인 토양 유실량 감소를 가져왔다 ($p < 0.05$). Gilley 등 (2000)은 인공강우를 이용한 모의시험에서 초지식생대의 설치가 경사가 약 8~16%인 옥수수의 경우 재배지의 경우 63%의 토양유실이 감소되었으며, 무경운 재배지의 경우 53% 토양유실이 방지되었다고 보고하였다.

토양침식은 표토와 영양분의 유실을 가져와 토양의 물질적, 화학적 특성에 영향을 미치게 된다. 물질적 영향은 농경지로부터의 토양 유실과 수계로 퇴적물을 운반하는 등 물리적 영향을 수반하며, 화학적으로는 식물이 이용 가능한 영양분 손실 및 유거수를 통한 농약 등을 운반하는 역할을 하게 된다 (Stroosnijder, 1995). 우리나라 밭 면적은 879천 ha로서 이중 경사 7%이상의 경사지 밭 면적은 전국적으로 62%를 차지하므로 경사지에서 초지식생대의 설치하는 토양 유실 방지와 이로 인해 발생하는 양분의 유실 등 사료작물 재배지로부터 발생하는 비점오염원을 저감할 수 있을 것으로 사료된다.

IV. 요약

본 연구는 사료작물 재배지에 가축분뇨를 시

용한 사료작물 재배지에서 초지식생대를 설치에 따른 $PO_4\text{-P}$ 와 토양 유실 저감 효과를 구명하기 위하여 수행되었다. 본 시험은 국립축산과학원 초지사료과 시험포장(천안)에서 경사가 약 10%에서 $\pm 3\%$ 인 자연 경사지를 이용하여 2007년부터 2009년까지 3년간 수행하였다. 가축분뇨 사용은 화학비료, 우분퇴비 및 돈분퇴비를 사용하였으며, 초지식생대의 길이는 5 m, 10 m 및 15 m의 길이로 설치하였다. 초지식생대 길이에 따른 유거수 중의 $PO_4\text{-P}$ 의 농도는 초지식생대의 길이가 길어질수록 줄어드는 경향을 보였다. 유거수 중의 평균 $PO_4\text{-P}$ 농도는 초지식생대 0 m인 지점에 비해 초지식생대의 길이가 10 m 및 15 m 일 경우 $PO_4\text{-P}$ 의 농도가 유의적으로 감소하였으나 ($p < 0.05$), 초지식생대의 길이 10 m와 15 m 사이의 유실량의 유의적인 감소는 일어나지 않았다. 가축분뇨 사용에 따른 2008~2009년 평균 $PO_4\text{-P}$ 농도는 화학비료 > 우분퇴비 > 돈분퇴비 순으로 높은 경향을 보였으나, 통계적인 유의성은 나타나지 않았다. 초지식생대 설치에 따른 2년 평균 토양 유실량은 길이가 5 m, 10 m, 15 m로 길어질수록 감소하였으며, 5 m 및 10 m에 비해 15 m 지점에서 유의적인 토양 유실량 감소를 가져왔다 ($p < 0.05$). 따라서 경사지에서 초지식생대의 설치는 가축분뇨를 사용한 사료작물 재배 시 강우로 유실되는 $PO_4\text{-P}$ 와 토양의 유실을 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

VI. 인 용 문 헌

1. 김성원, 손창선, 우효섭, 오종민. 2006. 비점오염 부하 저감과 수변구역의 효율적 조성을 위한 연구조사. 한국물환경학회·대한상하수도학회. 1015-1058.
2. 농림수산식품부. 2010. 주요통계자료
3. 신동은. 1998. 축종별 액상분뇨와 질소 사용량이 양질조사료의 수량, 사료가치 및 토양특성에 미치는 영향. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
4. 환경부. 2007. 수질오염공정시험법.
5. Abu-Zreig, M., R.P. Rudra, H.R. Whiteley, M.N. Lalonde, and N.K. Kaushik. 2003. Surface Water Quality : Phosphorus Removal in Vegetated Filter strips. *Journal of Environmental Quality*. 32:613-619.
6. Beckwith, C.P., J. Cooper, K.A. Smith, M.A. Shepherd. 1998. Nitrate leaching loss following application of organic manures to sandy soils in arable cropping. I. Effects of application time, manure type, overwinter crop cover and nitrification inhibition. *Soil Use Manage.* 14:123-130.
7. Blanco-Canqui, H., G.J. Gantzer, S.H. Anderson, E.E. Alberts, and A.L. Thompson. 2004. Grass barrier and vegetative filter strip effectiveness in reducing runoff, sediment, nitrogen, and phosphorus loss. *Soil Science Society of America Journal*. 68:1670-1678.
8. 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.
9. Cooper, J.R. and J.W. Gilliam. 1987. Phosphorus redistribution from cultivated fields into riparian areas. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:1600-1604.
10. Dillaha, T.A., R.B. Reneau, S. Mostaghimi, and D. Lee. 1989. Vegetative filter strips for agricultural nonpoint source pollution control. *Transactions of the ASAE*. 32(2):513-519.
11. Dorioz, J.M., D. Wang, J. Poulenard, and D. Trevisan. 2006. The effect of grass buffer strip on phosphorus dynamic A critical review and synthesis as basis for application in agriculture landscapes in France. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 117:4-21.
12. Eghball, B., J.E. Gilley, D.D. Baltensperger, and J.M. Blumenthal. 2002. Long-term manure and fertilizer application effects on phosphorous and nitrogen in runoff. *Transactions of ASE* 45(3): 687-694.
13. Environmental Protection Agency (EPA). 2005. National management measures to protect and restore wetlands and riparian areas for the abatement of nonpoint source pollution. 841-B-05-003:61-80.
14. Gilliam, J.W. 1994. Riparian wetlands and water quality. *Journal of Environmental Quality*. 23:896-900.

15. Gilley, J.E., B. Eghball, L.A. Kramer, and T.B. Moorman. 2000. Narrow grass hedge 14.
 16. Hillbriicht-Ilkowska, A., L. Ryzkowski, and A. N. Sharpley. 1995. Phosphorus transfers and landscape structure: riparian sites and diversified land use patterns. 201-228.
 17. Heathwaite, A.L., P. Griffiths, and R.J. Parkinson. 1998. Nitrogen and phosphorus in runoff from grassland with buffer strips following application of fertilizers and manures. *Soil Use and Management*. 14:142-148.
 18. Hooda, P.S., M. Moynagh, I.F. Svoboda, M. Thurlow, M. Stewart, M. Thomson, and H.A. Anderson 1997. Soil and land use effects on phosphorus in six streams draining small agricultural catchments in Scotland. *Soil Use and Management* 13:196-204.
 19. Jacobs, T.C. and J.W. Gilliam. 1985. Riparian losses of nitrate from agricultural drainage waters. *Journal of Environmental Quality*. 14:472-478.
 20. Jensen, L.S., I.S. Pederson, T.B. Hansen, and N.E. Nielsen. 2000. Turnover and fate of ¹⁵N-labelled cattle slurry ammonium-N applied in the autumn to winter wheat. *European Journal Agronomy*. 12:23-35.
 21. Kiely, G. 1997. *Environmental Engineering*. Berkshire, England: McGraw-Hill.
 22. Kim, Y.J., L.D. Geohring, J.H. Jeon., and A.S. Collick 2006. Evaluation of the effectiveness of vegetative filter strips for phosphorus removal with the use of a tractor. *J. Soil Water Conserv.* 61(5):293-302.
 23. Lowrance, R., L.S. Altier, J.D. Newbold, R.R. Schnabel, P.M. Groffman, J.M. Denver, D.L. Correll, J.W. Gilliam, J.L. Robinson, R.B. Briensfield, K.W. Staver, K. Lucus, and A.H. Todd. 1995. *Water Quality Functions of Riparian Forest Buffer Systems in the Chesapeake Bay Watershed (Technology Transfer Report)*. U.S.E.P.A. Chesapeake Bay Program, Annapolis, MD.
 24. Osborne, L.L. and D.A. Kovacic. 1993. Riparian vegetated buffer strip in water-quality restoration and stream management. *Freshwater Biology*. 29:243-258.
 25. Pionke, H.B., W.J. Gburek, A.N. Sharpley, and R.R. Schnabel. 1996. Flow and nutrient export patterns for an agricultural hill-land watershed. *Water Resources Research* 32:1795-1804.
 26. Sharpley, A, J.J. Meisinger, A. Breeuwsma, J.T. Sims, T.C. Daniel, and J.S. Schepers. 1998. Impacts of animal manure management on ground and surface water quality. p 173-242. In: J. L. Hatfield, and B. A. Stewart, eds. *Animal waste utilization: Effective use of manure as a soil resource*. Chelsea, MI: Ann Arbor Press.
 27. 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 Science Society of America*. 52:1667-1672.
 28. Strohmeier, K. 2002. *Vegetative filter strips*. Owen County Extension Agent for Agriculture and Natural Resources.
 29. Stroosnijder, L. 1995. Quantification of nutrient erosion. In: *Proceedings Conference on Erosion and Land Degradation in the Mediterranean*. Portugal, University of Aveiro. 89-98.
 30. Wienhold, B.J. and P.S. Miller. 2004. Phosphorous characterization in manure from swine fed traditional and low phytate corn diets. *J. Environ. Qual.* 33:389-393.
 31. Zebarth B.J., J.W. Paul, O. Schmidt, and R. McDougall. 1996. Influence of the time and rate of liquid-manure application on yield and nitrogen utilization of silage corn in south coastal British Columbia. *Canadian journal of soil science*. 76:153-164.
- (접수일: 2010년 10월 13일, 수정일 1차: 2010년 10월 23일, 수정일 2차: 2010년 11월 1일, 게재확정일: 2010년 12월 7일)