

Research Article-Soil Environment



CrossMark

Open Access

농경지 토양유실 및 수질오염물질 유출에 대한 침사구 조성 효과

박세인¹, 박현진¹, 김한용^{2*}

¹전남대학교 농업생명과학대학 지역바이오시스템공학과, ²전남대학교 농업생명과학대학 응용식물학과

The Performances of Sediment Trap for Reducing Water Pollutants and Soil Loss from Rainfall Runoff in Cropland

Se-In Park¹, Hyun-Jin Park¹, Han-Yong Kim^{2*} (¹Department of Rural & Biosystem Engineering, College of Agriculture and Life Sciences, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea, ²Department of Applied Plant Science, College of Agriculture and Life Sciences, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea)

Received: 8 November 2019/ Revised: 10 November 2019/ Accepted: 13 November 2019

Copyright © 2019 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ORCID

Han-Yong Kim
<https://orcid.org/0000-0001-6280-6251>

Se-In park
<https://orcid.org/0000-0002-0735-7913>

Hyun-Jin Park
<https://orcid.org/0000-0002-2642-5723>

Abstract

BACKGROUND: An intensive farming system may be of the most important source for agricultural non-point source (NPS) pollution, which is a major concern for agricultural water management in South Korea. Various management practices have therefore been applied to reduce NPS loads from upland fields. This study presents performances of sediment trap for reducing NPS and soil loss from rainfall runoff in cropland.

METHODS AND RESULTS: In 2018 and 2019, three sediment traps (L1.5 m × W1.0 m × D0.5 m = 0.75 m³) and their controls were established in the end of sloped (ca. 3%) upland field planted with maize crops. Over the seasons, runoff water was monitored, collected, and analyzed at every runoff. Soils deposited in sediment traps were collected and weighed at the season end. Sediment traps reduced runoff amount ($p < 0.05$) and NPS concentrations, though the decreased NPS concentrations were not always statistically significant. In addition, sediment traps had a

significant prevention effect on soil loss from rainfall runoff in a sloped cropland.

CONCLUSION: The results suggest that the sediment trap could be a powerful and the best management practice to reduce NPS pollution and soil loss in a sloped upland field.

Key words: NPS pollution, Rainfall runoff, Sediment trap, Soil loss

서 론

노지농업의 집약적 생산시스템은 주요 비점오염원의 하나이다. 강, 하천, 호소, 저수지 등의 수자원 보호 및 건전한 농업용수의 지속적 확보·이용을 위해서는 적절한 농업비점오염원 관리가 매우 중요하다. 농업비점오염 관리에는 주로 구조적·비구조적 최적관리기법(BMPs)이 이용되고 있다. 전차에는 인공습지, 침사지, 초생대, 식생두둑, 침사구, 우회수로, 배수로 설치 등이 있고, 후자에는 지표피복, 경운관리, 시비관리, 작목관리 등이 있다(Choi et al., 2016; Jang et al., 2017; Lee et al., 2015; Shin et al., 2013; Shin et al., 2012). 이들 최적관리기법의 적용은 강우유출, 비점오염 경감 효과뿐 아니라 토양유실 경감에도 효과가 있는 것으로 알려져 있다(Shin et al., 2013; Zhang et al., 2013). 그러나 이들 효과는 강우강도나 영농조건 및 농지의 입지조건·지형

*Corresponding author: Han-Yong Kim
Phone: +82-62-530-2051; Fax: +82-62-530-2019;
E-mail: hyk1020@jnu.ac.kr

등에 따라 크게 달라진다(Jang et al., 2017; Shin et al., 2010). 또 최근에는 토지의 이용과 기후변화도 구조적·비구조적 관리기술의 농업비점오염 경감 효과에 큰 영향을 미칠 수 있다고 보고되고 있다(Kim et al., 2018; Wang et al., 2018).

한편, 우리나라 전체 농경지의 약 47%에 해당하는 밭의 60% 이상이 7%이상의 경사도를 가지고 있기 때문에 여름철 집중호우에 의한 비옥한 토양표토유실과 비점오염물질 유출에 매우 취약한 상태에 있다(Rural Development Administration, 1992). 강우에 따른 밭 토양 유실과 비점오염물질 유출은 연중 발생할 수 있으나, 밭작물의 2~3모작을 고려할 때, 특히 토양이 일정기간 나지상태로 노출되는 작기(전작물과 후작물 재배의 사이)의 토양유실과 오염물질 유출 위험성이 증대될 수 있다. 이 간작기는 인공습지·침사지 등 일부를 제외한 대다수의 구조적·비구조적 최적관리기법(Choi et al., 2016; Jang et al., 2017; Lee et al., 2015; Shin et al., 2013; Shin et al., 2012)의 적용이 곤란한 시기이다. 따라서 대부분의 농경지는 다음 작물재배 시기까지 방치된 상태로 경과하게 된다.

밭 경사면 등의 말단부에 설치하는 소규모 침사구는 작물 재배 유무에 관계없이 지속적으로 유지·관리가 가능한 최적 관리기법의 하나이다. 따라서 우리나라에서 일반적으로 이루어지고 있는 밭 농업 2~3모작의 작부체계에서도 침사구의 토양유실 및 비점오염물질 유출 경감에 효과가 기대된다(Shin et al., 2012). 소규모 침사구는 지표유출수의 저류나 월류과정에서 고형물의 침전과 필터 기능을 수행함으로써 토양유실과 수질오염 물질의 유출을 경감시킨다. 그러나 토양유실과 수질오염물질 유출 경감을 촉진하기 위해서는 농경지 내에서 유출수의 침투를 조장하여 유출수량을 감소시켜 침사구의 저류여력을 확보하는 등 저류·침전기능 개선이 필요하다. 본 연구는 강우에 따른 경사지 밭의 지표유출수량, 수질오염물질 유출 및 토양유실에 대한 침사구 조성 효과를 검토하고, 경운 관리조건에 따른 차이를 평가할 목적으로 2018년과 2019년 옥수수 작기에 수행하였다.

재료 및 방법

침사구 조성 및 경운 및 작물재배

본 시험은 2018년 및 2019년 옥수수 작기에 전남대학교 농업실습교육원 경사(경사도 3%) 전작포장에서 수행하였다. 2018년 및 2019년 옥수수 파종(또는 정식) 전 총 336 m² (19.0 m × 3.5 m)의 시험구를 6개의 블록(56 m²: 16 m × 3.5 m)으로 구획한 다음, 3개 블록의 경사면 말단부에 소규모 침사구(L1.5 m × W1.0 m × D0.5 m= 0.75 m³)를 조성하고, 나머지 3개의 블록을 대조구로 하였다(Fig. 1). 대조구 역시 시험

포장 경사면 말단부에 지표 유출수 수집통(L0.51 m × W0.37 m × D0.3 m= 0.057 m³)을 설치하여 조성하였다. 침사구 및 대조구의 옥수수 재배 시험구는 강우 지표 유출수량의 경운방법에 따른 차이를 평가하기 위하여 2018년에는 천경로터리(<12 cm), 2019년에는 심경로터리(>25 cm) 후, 물결형 플라스틱 격자판을 12~20 cm 깊이로 설치하여 강우 지표유출수의 상호 간섭을 차단하였다. 경운방법에 따른 강우 지표유출수량 시험은 동일 시험연도에 실시하는 것이 가장 이상적이나, 본 시험에 이용할 수 있는 경사 시험포장의 한계 때문에 부득이 시험연도를 달리하여 수행하였다. 그러나 기상학적 측면에서 강우 지표 유출수량은 주로 시험연도의 강우특성을 반영하여 나타나기 때문에(Shin et al., 2010) 시험연도별 경운방법을 달리하여 시험을 수행하여도 무방할 것으로 판단되었다. 2018년 시험의 옥수수(품종: 일미찰) 파종은 5월 1일에 실시하고, 조류피해에 의한 결주는 동일한 날짜에 별도의 육묘상자에 파종·육묘한 묘를 이용하여 보식하였다. 2019년에는 조류피해의 경감을 위하여 4월 1일에 육묘상자에 파종·육묘한 묘를 4월 25일에 정식하여 수확기까지 재배하였다. 2018년 및 2019년 모두 농촌진흥청에서 권장하는 옥수수 표준시비(N-P-K=17.2-3.2-6.8 kg/10a) 조건에서 재배하였으며, 시험포장의 토양이화학적성은 Table 1에 나타낸 바와 같았다.

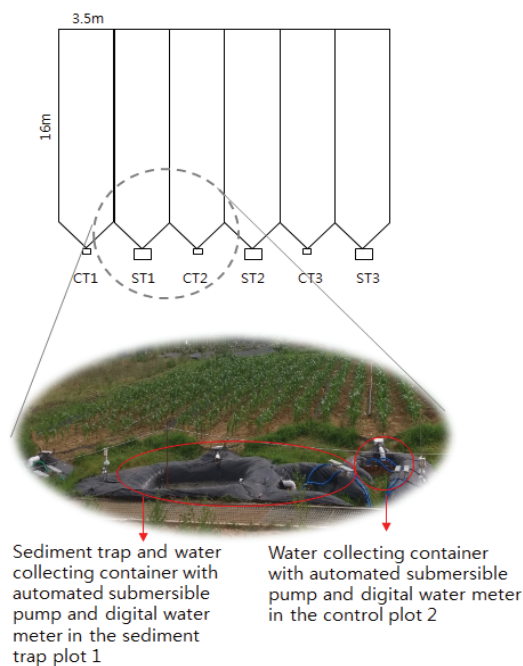


Fig. 1. Schematic diagram of experimental plots and dimension, and field landscape showing the sediment trap (ST) plot 1 and control (CT) plot 2.

Table 1. Physiochemical properties of soil used for the study

pH (1:5)	Avail. P ₂ O ₅ (mg/kg)	NH ₄ ⁺ -N (mg N/kg)	NO ₃ ⁻ -N (mg N/kg)	OM (%)	CEC (cmolc/kg)	Texture
7.53	75.6	14.62	32.55	1.66	11.4	Silt loam

강우특성

시험기간(2018: 5월1일~8월25일, 2019: 4월25일~8월22일) 중의 총 강우량, 강우일수, 최대강우강도, 강우지속시간 등의 강우특성은 Table 2에 나타낸 바와 같다. 시간당 강우량으로 나타낸 최대강우강도는 2019년(28.6 mm/h)보다 2018년(44.3 mm/h)에 컸으며 30 mm/h 이상의 강우도 3회 관측되었다. 시간당 10 mm 이상의 강우강도 관측 회수는 2018년과 2019년 모두 9회로 동일하였다. 강우최대지속시간은 2018년(15.2 h/d)보다 2019년(19.9 h/d)에 컸으며, 2018년에는 10시간 이상 지속강우 6회, 5시간 이상 지속강우 17회 관측되고, 2019년에는 각각 5회와 20회 관측되어 2018년과 2019년에 대체로 유사하였다. 반면, 20 mm 이상의 일강우량은 2019년 11회 관측되어 2018년의 7회보 다 많았으며, 일 최대강수량(2018년 67.6 mm vs. 2019년 83.0 mm)과 강우일수(2018년 24일 vs. 2019년 39일)도 2019년에 많았다. 따라서 시험기간의 누적강우량 역시 2019년(569.3 mm)이 2018년(482.5 mm)보다 약 87 mm 많은 특성을 나타내었다.

유출수량 계측, 유출수 샘플링, 분석 및 토양유실량 평가

2018년에는 강우 지표 유출수 중에 포함된 수질오염물질의 농도에 초점을 맞추어 실험을 수행하였고, 강우 유출수량은 계측하지 않았다. 유출수 중에 포함된 수질오염물질 농도를 측정하기 위하여 유출수가 발생하는 강우사상 마다 강우 시 침사구 및 대조구의 유출수 채수통으로 유입되는 유출수를 채수하여 냉장보관(5℃)하여 분석에 사용하였다. 유출수 중의 고형부유물질(SS) 전질소(TN), 총인(TP) 및 총유기탄소(TOC)농도를 수질오염공정시험기준(Ministry of Environment, 2017)에 따라 정량하였다. 2019년에는 강우 지표 유출수량을 계측하기 위하여 침사구와 대조구의 채수통에 자동식 탁수용 수중펌프 2대씩을 설치하고 각각 디지털 수도미터를 통하여 강제 배수시켜 유출수량을 계측하였다(Fig. 1). 2018년과 2019년 강우 유출에

따른 토양유실량은 시험 종료시점에서 침사구 바닥에 퇴적한 토양을 회수하여 평가하였다. 즉, 대조구에서 발생하는 토양유실량은 침사구에 퇴적한 토양에 상당하는 것으로 간주하고, 침사구로부터 회수한 토양의 건조중량을 계측한 다음, 단위면적당 토양유실량으로 환산하여 나타내었다.

시험설계 및 통계분석

본 시험은 포장 경사도의 공간변이 영향을 적절히 평가하기 위하여 랜덤화 완전 블록 설계에 기초하여 수행하였다. 강우 지표 유출수 중의 수질오염물질 농도, 유출수량 및 토양유실량의 처리(침사구 vs. 대조구) 간 통계적 유의성은 STATISTIX 7을 이용, General Linear 분산분석모형을 작성하여 검증하였다. 처리평균 간에는 최소유의차를 검증하여 통계적 유의성을 확인하였다.

결과 및 고찰

유출수량

유출수량을 계측한 2019년 4월25일~8월22일(옥수수 봄작기 + 후작물 준비기간)의 기간 중, 총 39회의 강우사상(Table 2)과 시험구 내 강우유입이 관측되었고, 대조구와 침사구에서 각각 5회와 1회 강우유출이 발생하였다(Table 3). 시험기간 중 대조구의 유출수량은 강우강도, 강우량 및 강우지속시간 등 강우특성에 따라 0.2 mm (0.01 m³) ~ 66.6 mm (4.04 m³) 범위에 있었다. 7월26~28일의 강우사상으로 발생한 침사구의 유출수량은 30.1 mm (1.73 m³)로 대조구 유출량(66.6 mm)의 45%수준으로 경감되었으며, 그 외의 강우사상에 의한 침사구의 강우유출은 발생하지 않았다. 대조구의 최대 강우유출은 약 12시간의 강우지속과 시간당 28.6 mm의 강우강도를 기록하며 61.6 mm의 강우량을 기록한 7월27일을 포함한 7월26일~28일의 87.5 mm 강우사상에서 관찰

Table 2. Rainfall characteristics during the experiments in 2018 and 2019

Rainfall characteristics†	Years	
	2018	2019
Max. intensity (mm/h)	44.3	28.6
Rainfall days with >30 mm/h	3	0
>20 mm/h	3	2
>10 mm/h	6	7
Max. duration (h/d)	15.18	18.88
Days with duration >10 h/d	6	5
> 5 h/d	17	20
Daily max. rainfall (mm/d)	67.6	83.0
Days with rainfall >20 mm/d	7	11
Total rainfall days	24	39
Total rainfall (mm)	482.5	569.3

† Data derived from KMA (Gwangju), which located within about 500 m from study site.

Table 3. Runoff amount of rainfall from the maize cropland in 2019 season

Rainfall event days	Rainfall mm/event	Treatment	Runoff	
			height (mm)	Volume (m ³)
May 18	40.1	Control	5.8 \pm 2.0a	0.34 \pm 0.11
		Sediment trap	0.0 \pm 0.0b	0.00 \pm 0.00
June 29	83.0	Control	4.7 \pm 0.6a	0.27 \pm 0.03
		Sediment trap	0.0 \pm 0.0b	0.0 \pm 0.0
July 18	26.0	Control	0.9 \pm 0.1a	0.05 \pm 0.01
		Sediment trap	0.0 \pm 0.0b	0.00 \pm 0.00
July 26-28	87.5	Control	66.6 \pm 9.9a	4.04 \pm 0.46
		Sediment trap	30.1 \pm 18.1b	1.73 \pm 1.04
August 22	24.2	Control	0.2 \pm 0.1a	0.01 \pm 0.01
		Sediment trap	0.0 \pm 0.0a	0.00 \pm 0.00

† Data presented mean \pm one standard error of 3 replicates. Different letters indicate significant difference ($p < 0.05$) between treatment.

되었다(Table 3). 본 연구의 결과에서는 강우량이 비교적 적거나 강우강도가 낮은 강우사상의 경우, 침사구에 유출수를 가두어 둠으로써 강우유출 저감 효과가 특히 탁월(100%)하며, 시간당 28 mm이상의 강우강도를 갖는 강우량 80 mm 이상의 강우사상에서도 50%이상의 강우유출 경감효과가 인정되었다. 이는 3개의 지표피복 조건(관행, 벚짚, 벚짚거적)의 침사구 연구에서 보고된 평균 유출 저감효과 64.1%(Shin et al., 2012)에 필적하는 수준이었다. Shin 등(2012)은 침사구에 유입되는 유출수는 벚짚거적피복>벚짚피복>관행 순으로 적었기 때문에 침사구 구성에 의한 유출 저감효과는 벚짚거적피복>벚짚피복>관행 순으로 크다고 보고하였다. 본 연구에서는 지표피복을 실시하지 않았으나, 2019년 작기에 심경(>25 cm)에 의하여 일반적으로 유도되는 토양용적밀도의 감소(Kribaa et al., 2001; Mohammadshirazi et al., 2016)가 지표수의 침투를 증대시켜 유출수를 크게 경감시키고, 결과적으로 침사구 구성에 의한 유출 저감효과를 증대시킨 것으로 판단되었다.

수질농도

2018년과 2019년 모두 침사구는 강우 유출수의 수질농도를 대체로 저감시키는 경향이였다(Table 4). 침사구구성에 의한 수질농도 저감효과의 통계적 유의성은 시험연차와 강우시기·특성 및 오염물질의 종류에 따라 크게 달랐으며, 수질농도 저감효과가 늘 발생하지는 않았다. 2018년 시험에서 수질농도 계측 전체를 통한 침사구의 SS, T-N, T-P 및 TOC 평균저감효과는 각각 87.3%, 27.8%, 15.9% 및 60.6%였으며, SS 저감효과가 가장 탁월하였다. 2019년 시험에서는 SS, T-N,

T-P 및 TOC 각각 86.6%, 80.0%, 76.7% 및 92.1%의 평균 저감효과를 나타내어 수질농도의 저감효과가 2018년보다 대체로 컸으며, 수질농도도 2018년보다 크게 낮았다(Table 4). 그러나 강우량이 많거나 강우강도가 높아서 대량의 지표수가 침사구에 유입되어 침사구의 용량(0.75 m³)을 초과하여 심한 유출이 발생할 때(2018년 6월27일~28일, 2019년 7월 26일~28일)는 침사구의 수질농도 저감효과를 기대하기 곤란하였다. 따라서 수질농도의 안정적인 저감효과 확보에는 중·대형 침사구 구성이 유리할 것으로 판단되었다. Shin 등(2012)도 소형 침사구의 수질농도 저감효과의 불안정성을 확인하고, 수질농도 저감효과를 높이기 위한 침사구의 대형화, 유출수 저류 시간 및 침투량 제고의 필요성을 제기하였다. 또 침사구와 지표피복재 등 최적관리기법의 혼용에 의한 수질농도 저감효과 제고 방안이 제안된 바 있다(Shin et al., 2013, 2016). 본 연구의 2019년 시험은 심경(>25 cm) 조건에 수행하였고, 천경(<12 cm)조건에서 수행한 2018년 보다 대조구의 수질농도가 개선되었을 뿐 아니라, 지표수의 침사구 유입량이 적어 침사구 용량을 초과한 유출이 단 1회 발생하였다(Table 4). 이러한 결과는 심경에 의하여 토양용적밀도가 감소하고 강우의 침투가 조장되어 지표유출이 감소한 결과로 판단되었으며, 심경과 조합한 침사구에 의한 강우유출 및 수질농도 저감 효과의 증대 가능성이 시사되었다. 한편, Lee 등(2015)은 관행경운조건보다 무경운조건에서 강우유출수와 비점오염부하 저감에 효과가 있는 것으로 보고하여 본 연구 결과와 대조를 이루었다. 그러나 Lee 등(2015)의 연구에서는 관행경운의 경우 무경운과 달리 두둑과 이랑을 조성함으로써 강우유출이 두둑과 이랑을 조성하지 않은 무경운조건에서 보다 과대평가되었을

Table 4. Effect of sediment trap on water pollutants runoff from corn field in 2018 and 2019

Year	Event day	Rainfall	Treatment	SS	T-N	T-P	TOC
		mm/event			----- mg/L-----		
2018	June 11	18.4	Control	14.5 \pm 3.5a	8.3 \pm 1.3a	1.7 \pm 0.9a	2.7 \pm 0.5a
			Sediment trap	0.0 \pm 0.0b	0.0 \pm 0.0a	0.0 \pm 0.0a	0.0 \pm 0.0b
	June 19	15.6	Control	13.0 \pm 8.0a	1.1 \pm 0.3a	1.8 \pm 0.8a	2.5 \pm 0.5a
			Sediment trap	0.0 \pm 0.0a	0.9 \pm 0.9a	0.1 \pm 0.1a	0.0 \pm 0.0b
	June 27	66.4	Control	26.5 \pm 5.1a	1.7 \pm 0.3a	1.4 \pm 0.5a	1.3 \pm 0.3a
			Sediment trap	3.8 \pm 1.9b	1.1 \pm 0.2b	1.7 \pm 0.8a	1.0 \pm 0.2a
	June 28	77.6	Control	5.7 \pm 2.0a	0.7 \pm 0.4a	0.6 \pm 0.3a	1.2 \pm 0.1a
			Sediment trap	1.7 \pm 0.3a	0.8 \pm 0.3a	1.1 \pm 0.4a	0.4 \pm 0.3a
	June 29-30	23.8	Control	25.3 \pm 7.8a	1.1 \pm 0.2a	1.0 \pm 0.5a	1.5 \pm 0.3a
			Sediment trap	4.9 \pm 2.4a	1.1 \pm 0.1a	1.1 \pm 0.4a	1.3 \pm 0.2a
2019	May 18	40.1	Control	1.3 \pm 0.1a	0.5 \pm 0.2a	0.4 \pm 0.1a	0.5 \pm 0.0a
			Sediment trap	0.0 \pm 0.0b	0.0 \pm 0.0a	0.0 \pm 0.0a	0.0 \pm 0.0b
	June 29	83.0	Control	0.5 \pm 0.0a	1.6 \pm 0.2a	0.4 \pm 0.2a	0.9 \pm 0.3a
			Sediment trap	0.0 \pm 0.0b	0.0 \pm 0.0b	0.0 \pm 0.0a	0.0 \pm 0.0a
	July 26-28	87.5	Control	0.5 \pm 0.1a	1.0 \pm 0.6a	1.0 \pm 0.5a	2.1 \pm 0.1a
			Sediment trap	0.2 \pm 0.2a	0.6 \pm 0.6a	0.7 \pm 0.7a	0.5 \pm 0.5b

† Data presented mean \pm one standard error of 3 replicates. Different letters indicate significant difference ($p<0.05$) between treatment.

가능성을 배제할 없다. 따라서 무경운, 관행경운, 천경 및 심경 등의 경운방법과 이랑과 두둑의 조성여부에 따른 강우유출과 수질오염부하 변동량 평가에 대한 상세한 추가 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

토양유실량

침사구에 퇴적된 토양(대조구로부터 유실되었을 토양)은 천경(<12 cm)조건에서 수행한 2018년 시험과 심경(>25 cm) 조건에서 수행 한 2019년 시험 결과에 유의한 차이가 인정되었다(Table 5). 천경조건에서 시험한 2018년에는 시험포장 m² 당 1.345 kg (건물)의 토양이 지표 유출수와 함께 침사구로 유입되어 퇴적 되었고, 2019년의 심경조건에서는 0.025 kg (건물)에 불과하였다. 이러한 결과는, 2019년 시험기간 중 최대 강우강도 이외의 강우일수, 강우량 및 일 최대강우량 등의 기상특성(Table 2)은 강우 지표유출 및 토사유출에 우호적이었지만, 심경에 따른 토양용적밀도 감소(Kribaa et al., 2001; Mohammadshirazi et al., 2016)가 강우의 침투를 조장하

여 지표유출을 저감시키고, 이에 따라 시험포장으로부터 토사 유출이 크게 저감되었기 때문으로 판단되었다. 또 Table 3에 제시한 바와 같이 2019년의 심경조건에서 강우 유입수의 지표유출 비중이 매우 낮은 결과와 Table 4에 제시한 2019년의 낮은 수질농도 결과에 의해서도 간접적으로 지지되었다. 신 등(Shin et al., 2012)은 침사구의 토양유실량 저감율을 87.1%로 보고하였으며, 벗짚거적 등으로 지표를 피복할 경우 저감율은 92.7%로 증가한다고 하였다. 본 연구에서는 침사구에 퇴적한 토양이 대조구에서 모두 유실된 것으로 간주할 때, 천경의 경우보다 심경의 경우에 토양유실 저감효과의 현저한 증가가 시사되었다. 그러나 Tebrügge와 Düring (1999)은 무경운은 토양수분보유능을 높여 관행경운보다 토사유실 및 강우유출수를 감소시킨다고 보고하여 본 연구 결과와 대립되었다. 따라서 무경운을 포함한 다단계의 경운방법별(무경운, 천경, 관행경운 및 심경) 침사구의 토양유실 저감효과에 대한 종합적인 후속 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

Table 5. Effect of tillage on soil removal from cropland by rainfall runoff in 2018 and 2019.

Year	Tillage	Soil removal by rainfall runoff (kg/m ²)
2018	Shallow tillage (<12 cm)	1.345 [†] ±0.163a
2019	Deep tillage (>25 cm)	0.025±0.004b

[†] Data presented mean±one standard error of 3 replicates. Different letters indicate significant difference ($p<0.05$) between treatment.

결론

강우에 따른 경사지 밭의 지표 유출수량, 수질오염물질 유출 및 토양유실에 대한 침사구 조성 효과를 검토한 결과, 시험기간 중 침사구의 강우유출 횟수(1회)는 대조구(5회)의 20%수준으로 저감되었다. 또 유입수량이 침사구의 용량을 초과하여 월류 유출된 경우에도 대조구 대비 45%수준으로 저감되어 침사구의 지표 유출 저감효과가 크게 인정되었다. 수질농도 저감에 대한 침사구 조성 효과도 대체로 인정되었으나, 대량의 지표수가 유입되어 침사구로부터 심한 유출이 발생하는 경우에는 수질농도 저감효과를 기대할 수 없었다. 침사구 조성에 의해 m²당 0.03 (심경포장: 2019)~1.35 kg (천경포장: 2018)의 토양유실이 방지되었고, 시험포장 경운방법에 따른 침사구의 토양유실 방지효과에 큰 차이가 인정되었다. 이상의 결과로부터 경사지 밭에 침사구를 조성하여 비점 오염물질의 유출을 저감시켜 농업용수의 수질오염을 방지하려는 농업환경보전프로그램 실천 활동은 유효하며, 그 효과 증대를 위해서는 농경지 규모에 상응한 규모의 침사구 조성 필요성이 시사되었다.

Note

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement

This work was carried out with the support of “Cooperative Research Program for Agriculture Science and Technology Development (Project No. PJ013401052018)”, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Choi, Y., Won, C., Shin, M., Park, W., Lee, S., Shin, Y., & Shin, J. (2016). Effect of no-till practice on runoff and nonpoint source pollution from an intensively farmed field in Korea. *Irrigation and Drainage*, 65(S2), 175-181.
- Jang, S. S., Ahn, S. R., & Kim, S. J. (2017). Evaluation of executable best management practices in Haeon highland agricultural catchment of South Korea using SWAT. *Agricultural Water Management*, 180, 224-234.
- Kim, K., Kim, B., Eum, J., Seo, B., Shope, C. C., & Peiffer, S. (2018). Impacts of land use change and summer monsoon on nutrients and sediment exports from an agricultural catchment. *Water*, 10(5).
<https://doi.org/10.3390/w10050544>.
- Kribaa, M., Hallaire, V., Curmi, P., & Lahmar, R. (2001). Effect of various cultivation methods on the structure and hydraulic properties of a soil in a semi-arid climate. *Soil and Tillage Research*, 60(1-2), 43-53.
- Lee, S. I., Won C. H., Shin, M. H., Shin, J. Y., Jeon, J. H., & Choi, J. D. (2015). Analysis of NPS pollution reduction from no-till field. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 57(4), 51-59.
- Mohammadshirazi, F., Brown, V. K., Heitman, J. L., & McLaughlin, R. A. (2016). Effects of tillage and compost amendment on infiltration in compacted soils. *Journal of Soil and Water Conservation*, 71(6), 443-449.
- Shin M., Jang, J., Lee, S., Park, Y., Lee, Y., Shin, Y., & Won, C. (2016). Application of surface cover materials for reduction of NPS pollution on field-scale experimental plots. *Irrigation and Drainage*, 65(S2), 159-167.
- Shin, M. H., Lim, K. J., Jang, J. R., Choi, Y. H., Park, W. J., Won, C. H., & Choi, J. D. (2012). Analysis of reduction of NPS pollution loads using the small sediment trap at field. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 54(2), 27-35.
- Shin, M. H., Won, C. H., Choi, Y. H., Seo, J. Y., & Choi, J. D. (2010). Simulation of generable nutritive salts by artificial rainfall simulator in field: by varying amount of fertilization and slope. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 52(3), 31-38.
- Shin, M. H., Won, C. H., Jang, J. R., Choi, Y. H., Shin, Y. C., Lim, K. J., & Choi, J. D. (2013). Effect of surface cover on the reduction of runoff and agricultural NPS pollution from upland fields. *Paddy and Water Environment*, 11(1-4), 493-501.
- Tebrügge, F., & Düring, R. A. (1999). Reducing tillage intensity—a review of results from a long-term study

- in Germany. *Soil and tillage research*, 53(1), 15-28.
- Wang, L., Flanagan, D. C., Wang, Z., & Cherkauer, K. A. (2018). Climate change impacts on nutrient losses of two watersheds in the great lakes region. *Water*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/w10040442>.
- Zhang, G. S., Li, J. C., Hu, X. B., & Zhang, X. X. (2013). On-farm assessment of soil erosion and non-point source pollution in a rain-fed vegetable production system at Dianchi lake's catchment, southwestern China. *Nutrient cycling in agroecosystems*, 96(1), 67-77.