

## 경관작물 구절초의 고랭지 경사지 밭 토양유실 경감 효과

김수정<sup>1†</sup>, 손황배<sup>1†</sup>, 홍수영<sup>1</sup>, 김태영<sup>2</sup>, 이정태<sup>2</sup>, 남정환<sup>1</sup>, 장동철<sup>1</sup>, 서종택<sup>2</sup>, 김울호<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>농촌진흥청 국립식량과학원 고령지농업연구소, 농업연구소, <sup>2</sup>농촌진흥청 국립식량과학원 고령지농업연구소, 농업연구소

## Effect of the Landscape Crop, *Chrysanthemum zawadskii* on Reducing Soil Loss in Highland Sloping Area

Su Jeong Kim<sup>1†</sup>, Hwang Bae Sohn<sup>1†</sup>, Su Young Hong<sup>1</sup>, Tae Young Kim<sup>2</sup>, Jung Tae Lee<sup>2</sup>,  
Jung Hwan Nam<sup>1</sup>, Dong Chil Chang<sup>1</sup>, Jong Taek Suh<sup>2</sup> and Yul Ho Kim<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Researcher and <sup>2</sup>Senior Researcher, Highland Agriculture Research Institute, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Pyeongchang 25342, Korea

**Abstract** - There is high vulnerability of soil loss in sloping and highland used for agricultural production due to the low surface covering in summer rainy season. This study evaluated the surface-covering rate of landscape crop in reducing soil loss in the highland. The experiment was conducted in a 55% sloped lysimeter with three treatments of planting density using Korean native chrysanthemum, and investigated the soil coverage rate, run-off water, and soil erosion. The three treatments according to the degree of soil covering are bare soil as the control treatment TC, coverage rate of 43-59% for treatment T1, and, coverage rate of 63-81% for treatment T1, and T2. During the cultivation period, the average reduction of run-off water was 71% for treatment T1 and 76% for treatment T2, which are better, compared with the control. The reduction in eroded soil was 84% in treatment T1 and 98% for treatment T2, which is also better than the control treatment. Therefore, it is possible to alleviate the soil loss in sloping lands by planting chrysanthemum, which is superior among the perennial plant species and considered as a crop with economic value.

**Key words** – Landscape crop, Lysimeter, Slope, Soil loss, Surface covering rate

### 서 언

우리나라의 고랭지밭 면적은 71,230 ha (표고 400 m 이상)으로 주로 백두대간에 위치하고 있다(ME, 2014; NIHA, 2000). 여름철 신선 채소의 공급 지대인 고랭지의 주요 밭작물은 여름 채소가 16,561 ha로 가장 많고, 여름 감자(4,656 ha), 약초(1,790 ha), 화훼류(203 ha) 순이며, 경사도가 심한 곳에서도 재배가 이루어지고 있는 실정이다(Kim *et al.*, 2019; NIHA, 2000). 특히 작물 수확 이후에서도 밭토양이 나지로 그대로 노출되어 있어 매년 밭토양의 약 20 ton · ha<sup>-1</sup>이 유실되고 있다(GAES, 2007; Yang and Jung, 2004). 고랭지 지역은 상수원 수계의 보호지역으로 토양유실과 함께 각종 화학물질 및 퇴비 등이 유출될 경우

수질오염에 영향을 미칠 수 있다(WREA, 2016). 따라서 토양유실을 경감할 수 있는 경사지의 토양보전농법의 개발이 절실한 실정이다. 토양유실 정도는 강우특성, 지형조건, 토양특성, 식생 및 표토 관리 방식에 따라 차이를 나타낸다(FAO, 2000; Liu *et al.*, 2000). 또한, 토양유실은 농경지뿐만 아니라 지표환경이 급변하는 산불지역, 개발지역 등에서도 크게 증가하며, 이를 줄이기 위해 지표 식생 회복 및 관리가 상당히 중요하다(Ghahra-mani *et al.*, 2011; Shin *et al.*, 2013).

토양유실 영향인자 중 자연적인 요인에 해당하는 강우인자, 토양인자, 지형인자는 관리가 거의 불가능한 반면, 식생 및 재배관리는 조절이 가능하다(Eom *et al.*, 2010; Lee and Won, 2013). 피복작물은 단기적으로 지표유출량을 감소시키고 토양 표면에 빗물의 충격을 완화시켜 토양유실을 또한 감소시킬 수 있다. 장기적으로는 토양구조형성에 도움을 주어 물의 침투능을 높임으로써 지하수량 증가 등의 효과가 있다(Duran and

\*교신저자: E-mail kimyuh77@korea.kr

Tel. +82-33-330-1840

† These authors contributed equally to this work.

Rodriguez 2008; Duran *et al.*, 2011).

고랭지는 평지보다 평균기온이 5-6°C 낮고 경작에 필요한 기후의 지속기간이 짧아 작물재배가 이루어지는 경작기간(5-10월)을 제외하고는 나지상태로 있으며, 겨울의 최저기온이 -20°C로 매우 낮다(ME, 2004). 이러한 고랭지 농업환경을 고려하여 월동이 가능한 작물을 선발하고 토양표면을 연중 피복하는 토양보전농업이 토양유실 저감에 중요한 해결책이 될 수 있다(Lee *et al.*, 2011). 지금까지 고랭지밭 경사도에 따른 토양유실 방지를 위한 연구로는 호밀 등을 피복작물로 활용하는 방법 등이 수행되었다(Kim *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2005; Lee *et al.*, 2012). 그러나, 월동이 가능하고 뿌리가 잘 발달해 물리성 개선 및 토양피복 효과가 뛰어난 영년생 자생식물을 피복작물로 활용하는 연구는 미흡한 실정이다.

우리나라 밭토양은 주로 산록지 및 구릉지와 같은 경사지에 위치하는 입지적 특성을 보이고 있으며, 특히 경사도가 7% 이상인 경사지 밭 토양의 비율이 61.7%나 되어 여름철 집중호우에 의한 토양 및 양분유실에 매우 취약하다고 하였다(RDA, 2015). 본 연구에서는 이러한 우리나라 밭토양의 입지특성을 고려하여 시험장소를 선정하였으며, 시험포장이 해발고도 및 경사도가 높은 곳에 위치하여 피복작물 식재에 따른 토양 및 양분유실 효과를 충분히 검증 가능할 것으로 판단되었다.

구절초(*Chrysanthemum zawadskii*)는 고랭지 환경에 적응성이 높고 꽃이 아름다워 경관성이 우수하며(Kim *et al.*, 2007; RDA, 2016), 꽃차와 같은 부가가치가 높은 가공소재로서의 활용도 가능하다. 그러나, 구절초를 이용한 토양유실 경감에 대한 기초자료 및 피복작물 효과에 대한 검증 연구는 아직 전무한 실정이다. 본 연구에서는 경관작물 중 고랭지 적응성이 뛰어난 구절초를 선발하여 피복작물로서 활용하기 위해 구절초 식재시 토양유실 경감 및 경관작물로서의 활용 가능성을 분석함으로써 고랭지 농업의 지속가능한 안정적 생산기반 구축을 위한 기초자료로 제공하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 시험장소 및 작물

시험은 해발 800 m, 경사도 55%의 고랭지에서 양질사토의 토양에서 수행하였다. 시험장소로 강원도 평창군 대관령에 위치한 국립식량과학원 고령지농업연구소에 경사지 55% 시험포장(경도 128° 72' 92", 위도 37° 67' 99")에 라이시미터(Lysimeter, 토양유실량의 유실대상 지역을 한정시켜 측정이 가능하도록 인위적으로 만든 구조물)의 규격을 가로 1.2 m에 세로 1.8 m로 조성하여 수행하였다. 시험작물은 피복작물로 구절초를 공시하여 재식거리는 10 × 10 cm로 하였다. 작물을 식재하지 않은 나지구(Control, TC) 대비 구절초 40주 식재처리구(T1), 구절초 70주 식재처리구(T2)로 총 3 처리를 두었다.

### 토양분석

토양의 물리화학적성은 농촌진흥청 국립농업과학원에 표준분석법에 준하였다(NAAS, 2000; NAS, 2017). 각 시험구별로 토양을 그늘에서 말린 후 분쇄하여 이물질을 깨끗이 제거한 후 분석에 이용하였다. 비중계를 이용한 Hydrometer법으로 토성을 분석하였다. 토양 pH, EC는 시료와 증류수의 비율을 1:5 (w/v)로 혼합하여 60분 진탕하여 여과(No. 2, Whatman International, Maidstone, UK)한 후 간이 pH 측정기(pH meter Orion 3-STAR, Thermo scientific, Waltham, MA, USA)와 전기전도도(Conductivity meter Orion 3-STAR, Thermo scientific, Waltham, MA, USA)를 이용해 측정하였고, 유기물함량은 튜린(Tyurin)법, 유효인산은 란카스터(Lancaster)법으로 스펙트로포토미터(Spectrometer GBC Cintra 202, Sydney, Australia)로 720 nm에서 비색측정하였다. 치환성양이온은 1 M ammonium acetate법으로 추출 후 ICP-AES (GBC Integra XL, Sydney, Australia)를 이용하여 정량하였다.

경관작물인 구절초 재배지의 토양 화학성은 pH 6.8, EC 0.09 ds · m<sup>-1</sup>, 유기물 26 g · kg<sup>-1</sup>, 유효인산 111 mg · kg<sup>-1</sup>, 치환성 칼

Table 1. The physico-chemical properties of the soil used in the lysimeter experiment

Treatment	Soil texture	pH (1:5)	EC (ds/m)	O.M. (g/kg)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	K Ca Mg Na			
						cmol/kg			
Mean <sup>z</sup>	Loamy sand	6.8	0.09	26	111	0.2	8.8	1.6	0.1
Range <sup>y</sup>		6.0-7.0	≤2.0	20-30	300-550	0.5-0.8	5.0-6.0	1.5-2.0	

<sup>z</sup>Lysimeter average value before planting in 2018.

<sup>y</sup>RDA, 2017; NIAST, 2006.

륨, 칼슘, 마그네슘 및 나트륨은 0.2, 8.8, 1.6, 0.1 cmol · kg<sup>-1</sup>인 것으로 분석되었다(Table 1). 이러한 토양 화학성을 농촌진흥청 농업과학기술원에서 제시한 밭 토양의 적정기준과 비교하였을 때 pH와 EC의 경우 적정 범위에 속하였으며, 유기물 함량(적정 20–30 g · kg<sup>-1</sup>)에서도 평균 26 mg · kg<sup>-1</sup>로 적정범위였다(NIAST, 2000; NIAST, 2006; RDA, 2015). 그러나, 시험지 토양의 유효 인산(적정 330–550 mg · kg<sup>-1</sup>)과 치환성 칼륨은 적정(0.5–0.8 cmol · kg<sup>-1</sup>)보다 다소 낮은 경향이였다. 칼슘 함량은 평균 8.8 cmol · mg · kg<sup>-1</sup>로 적정 수준값(5.0–6.0 cmol · kg<sup>-1</sup>)보다 높았다. 라이시메터 실험포장의 토성분석 결과 모든 시험구에서 양 질사토의 토성을 보였다. 이들 토성은 모래함량이 78.2%로 가장 높았으며, 미사 38.6, 점토 9.3% 순이었다. 이것은 이 지역이 산림지대를 개간하고 모재성토로 객토를 하였기 때문에 모래의 함량이 높은 것으로 사료된다.

### 토양 피복율 측정

토양 피복율 측정 및 분석은 Lee *et al.* (2011)이 사용한 방법에 준하여 수행하였는데, 경관작물의 생육이 이루어지는 동안에 생육초기(6월), 생육최성기(9월), 개화기(10월), 결실기(11월) 간격으로 처리별로 피복된 면적을 구한 후 전체면적에 대한 비를 구하여 이를 각각의 피복율로 결정하였다. 제초작업은 1–2회/월로 하여 라이시메타 내의 구절초 작물로 한정하였다.

$$\text{토양 피복율(\%)} = (\text{작물 면적} / \text{라이시메터 면적}) \times 100$$

### 기상환경

기상청의 대관령 지역 중관기상관측장비(Automated Synoptic Observing System, ASOS)에서 수집된 기상자료를 국가기후데이터센터(NCDSS, 2018)에서 다운받아 활용하였다. 작물 재배 기간(6–10월) 동안 평균온도, 최고온도, 최저온도 및 강우량의 기상요소를 엑셀로 계산하여 분석하였다.

강우강도분석은 작물생육기간인 6월 1일부터 10월 31일까지 기상청의 강우량 자료를 이용하여 Foster *et al.* (1981) 방식을 개량한 대관령 강우량 방법을 따랐다(Lee *et al.*, 2011). 강우침식성인자(EI30)는 강우의 운동에너지(KE)와 30분 최대강우강도(I30)의 곱으로 정의되며, 강우자료는 12.7 mm 이상의 연속적으로 된 강우로 강우가 오지 않은 시간이 6시간 이상일 때 하나의 독립적인 강우로 간주하고, 독립적인 1회의 강우가 12.7 mm 이하인 강우는 15분 이내의 강우량이 6.35 mm 보다 큰 수치를 이용하였다. 즉, 단일강우는 12.7 mm 이상의 연속된 강우이며, 강

우와 강우 사이의 간격이 6시간 이내일 경우로 하였다. 단, 독립적인 1회의 강우가 12.7 mm가 되지 않더라도 15분 이내의 강우가 6.35 mm 이상이면 1회의 강우로 간주하였다. 30분 최대강우는 단일강우 내에서 30분 동안 최대로 발생한 강우량으로 적용하였다.

강우침식성인자(EI30) =

$$\text{강우에너지}(E = 0.119 + 0.0873 \times \log I, I : \text{강우강도}) \\ \times 30\text{분 최대강도}(I30)$$

### 지표유출 및 토양유실 특성 분석

지표유출량과 토양유실량은 Eom *et al.* (2010)의 방법에 따라 6월 1일부터 10월 31일까지 총 22회 수행하였다. 토양유실은 대부분 강우에 의한 침식이므로 강우 다음날 라이시메터에 포집된 지표유출량과 토양유실량 조사하고 ha로 환산하였다. 각 처리별 라이시메터 하단부에 설치된 집수통에 수집된 유거수는 전체량을 측정하여 지표유출량으로 산출하고, 토사는 여과하여 전량 수집하고 80℃ 건조기를 이용하여 건조 후 건토 무게를 측정하여 토양유실량으로 산출하였다.

$$\text{지표유출량} = \text{유거수가 모인 집수통 무게(g)}$$

$$- \text{빈 집수통 무게(g)}$$

$$\text{토양유실량(건토무게)} = \text{여과지와 토사 무게(g)}$$

$$- \text{빈 여과지 무게(g)}$$

## 결과 및 고찰

### 구절초 식재에 따른 피복효과

구절초의 생육시기별 재식밀도에 따른 피복율 변화는 Fig. 1에 나타내었다. 생육초기(6월 18일)의 토양 피복율은 대조구인 TC의 경우 피복율이 0%로 피복이 되지 않은 나지 상태였으나 구절초 식재 처리구인 T1과 T2는 43–73%의 피복율을 보였다. 생육최성기(9월 5일)의 토양 피복율은 T1과 T2 처리구는 피복율이 49–77%로 생육초기보다 4–6% 높았다. 개화기(10월 1일)의 피복율은 T1과 T2 처리구에서 57–80%로 조사되어 구절초 재배기간 중 피복율이 가장 높았다. 결실기(11월 19일)의 T1과 T2 처리구의 피복율은 46–63%로 나타나 생육초기와 비슷하였다. 이상의 결과는 구절초의 경사지 식재에 따른 피복율이 가장 높은 시기는 개화기이며, 재식밀도가 높을수록 피복정도가 우수하였다.

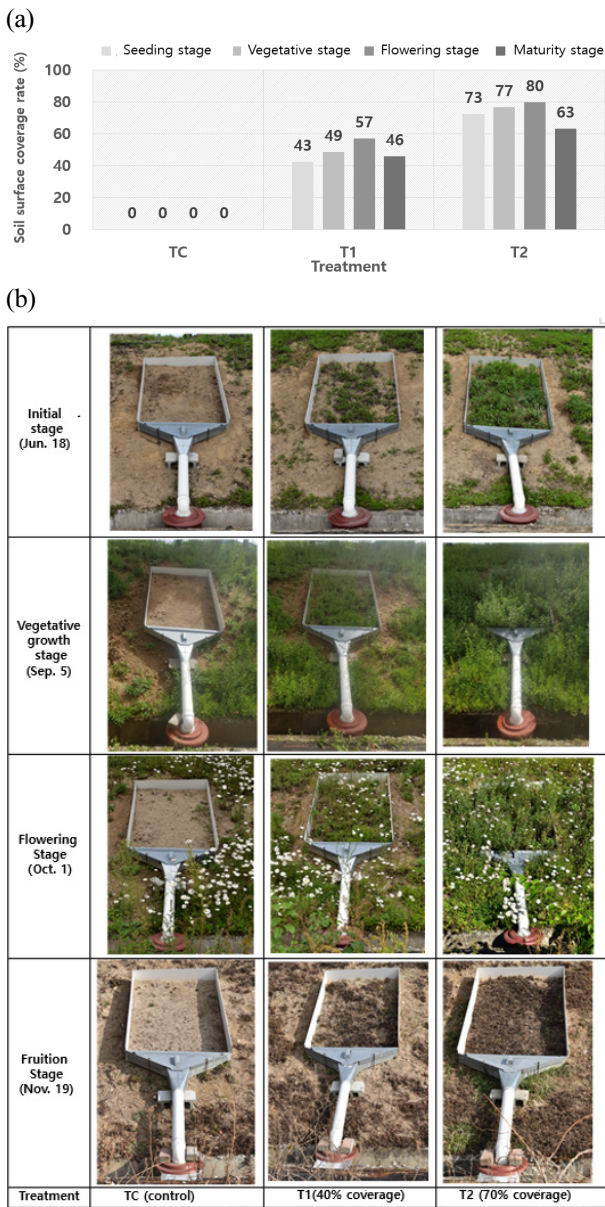


Fig. 1. Graph (a) and photo (b) of soil surface coverage rate in the lysimeter experiment according to growth stage in *Chrysanthemum zawadskii*. The photo (b) shows the top view 1.2 × 1.8 m surface-area lysimeter. Soil surface coverage rate for plant density values was measured during the 2018 growing season. The changes in average agronomic optimum plant density in 55% sloped lysimeter with three treatments of planting density (TC, control without plant; T1, 40 plant per lysimeter; T2, 70 plant per lysimeter) were recorded.

Eom *et al.* (2010)은 경작지에서의 토양유실 경감방법으로 피복작물 식재, 초생대 조성 등 토양관리가 매우 중요하다고 하

였다. 또한, 적합한 작물선정으로 토양 피복율을 높임으로써 강우의 직접적인 타격력과 유속을 감소시켜, 토양유실 및 지표수 유출량의 감소가 가능하다고 하였다(Duran and Rodriguez 2008). 토양유실은 강우에 의한 침식, 바람에 의한 풍식, 하천수에 의한 하식 등이 있는데 우리나라의 경우 토양의 침식은 강우에 의한 침식이 대부분이다. 강우에 의한 침식은 빗방울이 떨어질 때의 충격이나 빗물이 흐르는 힘에 의해 토양의 침식이 일어난다. 강우에 의한 침식은 전개과정에 따라 표토가 면상으로 얇게 깎이는 면상침식(sheet erosion), 빗물이 한쪽으로 흘러 흐르면서 작물 물줄기가 형성되어 좁은 면적 범위에서 얇게 생기는 토양의 침식을 세류침식(rill erosion), 작물 물줄기의 수가 많아지면 식재된 많은 작물 물줄기 사이에 비교적 균일한 층상의 침식이 일어나는데 이를 세류간 침식(interill erosion)이라고 한다(Lim *et al.*, 2012). 토양침식율은 에너지 균형에 근거한 강우(rainfall)의 유효에너지(surface runoff)와 지표유출의 유효 잠재적 에너지 함으로 정의되며, 조밀한 식생 경사면에서는 강우량의 효과적인 운동에너지에 크게 의존하고, 희박한 식생 경사면은 지표면 유출의 유효잠재 에너지에 의해 지배된다고 하였다(Shin *et al.*, 2016; Shin *et al.*, 2019).

본 시험에서도 작물 식생구인 T1과 T2 처리구는 대조구인 TC 처리구(나지처리)에 비해 토양표면 교란을 최소화하여 토양유실을 현저히 줄일 수 있을 것으로 판단되었다.

### 기상환경 및 토양유실량 분석

본 연구의 시험지역인 대관령의 기상환경을 분석한 결과, 구절초 재배기간(6~10월) 평균기온의 5개월 평균은 16.1°C, 평균기온범위는 1.0~26.1°C로 나타났으며, 5개월 평균 최저기온 11.7°C, 최저기온범위는 -4.5~21.8°C, 5개월 평균 최고기온은 21.2°C, 최고기온범위는 5.8~32.9°C인 것으로 조사되었으며 (Fig. 2A), 재배기간(5개월) 동안의 강우량은 1,207.9 mm로 나타났다(Fig. 2B).

생육초기인 6월에는 비가 거의 오지 않아 매우 가물었으며, 8월에는 집중 강우로 인해 평년보다 강우량이 많았다. 재배기간 초기의 건조하고 쌀쌀한 온도는 구절초 생육 및 개화에 영향을 주어 평년지보다 빠른 개화 특성을 보였다. 대관령 지역의 경우 연 강우량의 약 70%가 집중되는 6~9월에 경운과 파종이 이루어지고 지형 특성상 국지성 호우가 많아 토사유실이 가속화되고 있는 실정이다(ME, 2004; RDA, 2015). 따라서 이러한 특이기를 보이는 대관령 지역의 경우 경사지밭 토양유실 방지를 위한 작물의 선택과 식재가 매우 중요할 것으로 판단된다.

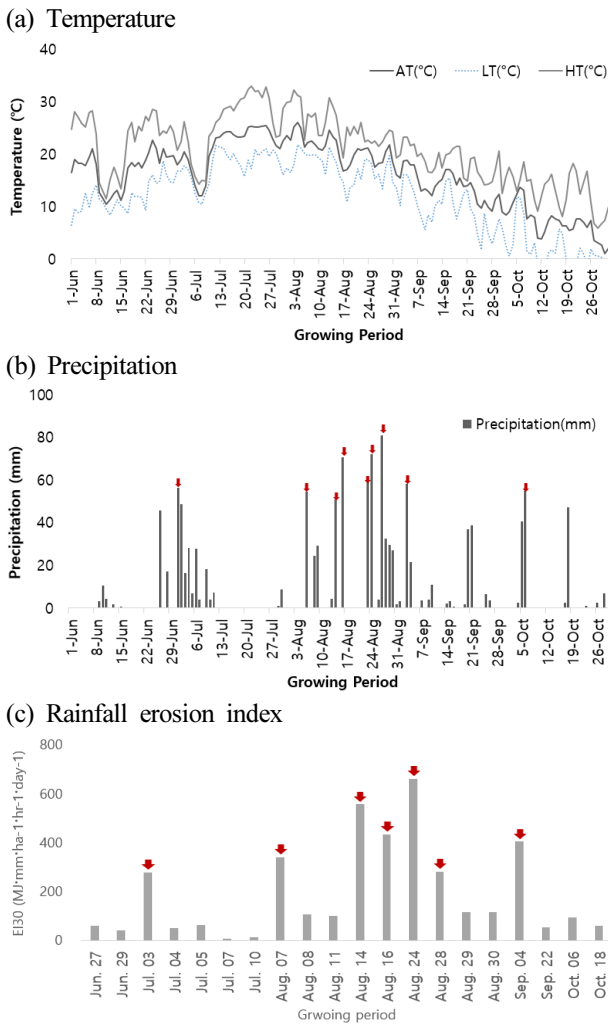


Fig. 2. Changes in daily temperature (a), precipitation (b) and rainfall erosion index EI 30 (c) in Daegwallyeong, Pyeongchang, Korea where *Chrysanthemum zawadskii* grown in lysimeter. Dark black, sky-blue dot and light grey line in panel a represent daily average temperature (AT), low temperature (LT) and high temperature (HT). While the red arrow in panel a and b represent more than 50 mm in precipitation and 200 rainfall erosion index during the plant growing season.

라이시메타를 이용하여 구절초 재식밀도에 따른 실제적인 지표유출량 및 토양유실량을 평가한 결과는 Fig. 3에 나타내었다. 재배기간 중 지표유출량은 나지인 TC 처리구의 경우  $100 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$  이상이 6회 이상 발생하였으나, 구절초 식재 처리구인 T1과 T2 처리구에서 단 한 번도 없었다. TC 처리구의 지표유출량 최대치는  $142 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$  로 가장 많았다. T1과 T2 처리구의 지표유출량 최대치는 각각  $65, 40 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$  로 TC 처리구보다 각각 54%, 72% 감소되었다.



Fig. 3. Changes in the runoff water (a) and soil loss (b) during *Chrysanthemum zawadskii* growing period in a sloped highland of lysimeter experiment. The blue, red and green dots in panel a and b represent control without plant (TC), 40 plant per lysimeter (T1) and 70 plant per lysimeter (T2).

재배기간 중 토양유실량은 나지인 TC 처리구는  $0.1 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$  이상이 3회 이상 발생하였으나, T1은 1회, T2 처리구에서 단 한 번도 없었다. TC 처리구의 토양유실량 최대치는  $0.731 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$  로 가장 많았다. T1과 T2 처리구의 토양유실량 최대치는 각각  $0.16, 0.01 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$  로 TC 처리구보다 각각 78%, 99% 감소된 것으로 조사되었다. 이러한 결과는 구절초 식재에 따른 토양유출량 감소효과가 매우 우수함을 나타낸다.

재배기간 동안(6-10월)의 총 강우량은  $1,207.9 \text{ mm}$ 였으며, 하루  $50 \text{ mm}$  이상 강우량이 많은 경우는 모두 9회로 주로 7-8월이었으며, 이때의 누적강우량은  $558.1 \text{ mm}$ 로 재배기간 전체 강우량 중 46.2%를 차지할 정도로 많았다. TC 처리구는 하루 강우량이  $50 \text{ mm}$  이상 발생하였을 때 지표유출량과 토양유실량도 많았으나, 상대적으로 T1과 T2의 경우 지표유출량과 토양유실량이 거의 관찰되지 않았다.

라이시메타를 이용하여 구절초 재식밀도에 따른 자연 강우에 의해 발생한 지표유출량과 토양침식량에 대한 관계를 나타내었다(Figs. 4 and 5). 강우가 많이 발생할수록 지표유출량은 유의하게 증가하였다. 그러나, 강우에 비례하여 토양유실량은 현저

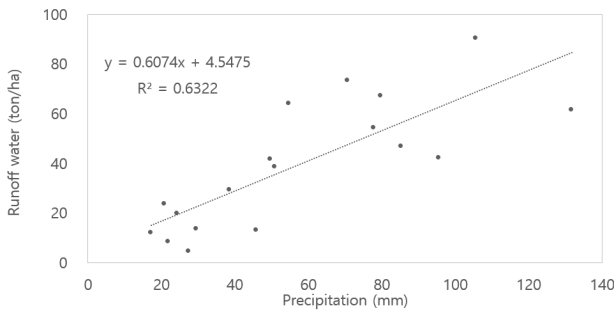


Fig. 4. Relationship between rainfall and precipitation generated through rainfall event modelling.

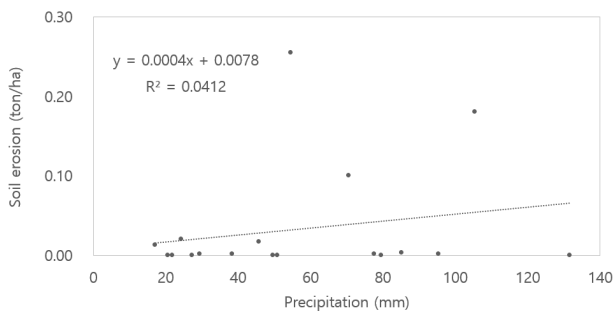


Fig. 5. Relationship between soil erosion and precipitation generated through a rainfall event modelling.

하게 감소하지 않았다. 이는 초기 강우에 의해 토양유실이 심해 생육후기에는 토양유실이 상대적으로 적음을 알 수 있었다.

Shin *et al.* (2013)은 강원도 영동지역이 전형적인 국지적, 시간적 기상변화가 극심한 산악 기후 특성을 가지고 있고, 연간 강수량이 1,400 mm 정도로 강우량이 많은 편이고, 우기인 6-9월에 집중호우가 발생한다. 산불피해 지역 중에 식생회복이 빠른 조사구들은 평균 지표유출량 및 토양침식량은 대조구의 2배이었으나 식생회복이 느린 조사구들의 경우 대조구에 비해 10배 가량 물유출 및 토양유실이 발생하여, 식생에 따라 확연한 차이를 보였으며, 물 유출에 있어서 상관관계가 높은 인자는 강우인자이고, 토양유실에 있어서는 강우인자보다는 식생인자에 더 높은 상관관계가 있다고 했다(Shin *et al.*, 2008; Park *et al.*, 2012). 또한 산불발생 후 같은 토양 및 식생회복의 경우라고 경사가 급한 지역에서 3배 이상의 토양유실이 발생하여 경사가 토양침식에 있어 중요한 인자임을 입증하였다고 하였다(Shin *et al.*, 2013).

강원도 평창(1995-1999) 지역의 경사도 15% 이상 밭에서의 토양유실량을 조사한 기존 연구에서 초생대, 들승수로 등 토양유실 방지처리구의 경우 토양유실량이 13.9 ton/ha (16.2)이 밭

생하여 관행인 85.7 ton/ha (100)보다 현저히 감소한 것으로 조사되었으며, 지표유출량에서도 관행이 1,604 kL/ha인데 반해 방지처리구는 860 kL/ha로 절반가량 적었다고 하였다(Eom *et al.*, 2010). 이러한 결과와 본 연구에서 고랭지 경사지밭 구절초 식재를 통한 지표유출량과 토양유실량 감소 효과는 비슷한 경향을 나타내었다.

또한, 강우패턴을 보면 강우량이 8월 6일, 14일, 16일, 23일, 24일, 27일에 각각 54.5, 51.0, 70.6, 59.5, 72.2, 81.0 mm 내려 누적강우량이 542.6 mm로 8월에 강우가 집중되었으며, 전체 조사기간 중 강우의 45%를 차지하였다. 이 기간의 강우침식인자 EI30은 재배기간 강우량의 64%를 차지하였다. Park *et al.* (2011)은 전국 토양유실량 예측을 위해 기상청 산하 전국 60개 지점의 강우침식인자를 계산한 결과, 2001-2010년 조사기간에 4,370 MJ · mm · ha<sup>-1</sup> · yr<sup>-1</sup> · hr<sup>-1</sup>의 값이 도출되었으며, 특히 여름철이 강우침식인자에서 차지하는 비율이 74.2%로 여름철 강우가 절대값 수치뿐만 아니라 상대적인 비율에서도 높게 나타났다. Lim *et al.* (2012)은 최근 레이저-옵티컬 디스트로미터를 이용하여 강우강도에서 강우에너지(kinetic energy) 변화를 평가하였을 때 다른 계절에 비해 기온이 높은 여름(7-9월)에 상대적으로 많은 양의 비가 내렸고, 장마 후의 태풍의 영향으로 대전에 100 mm/h 이상의 높은 강우강도 값을 나타내었다고 했다. 이러한 결과는 본 연구에서 강원도 고랭지 지역의 여름철 강우패턴의 분석된 결과와도 일치하는 경향이였다.

Lee *et al.* (2011)은 강우량과 강우침식인자에 의해 초기에는 지표유출량과 토양유실량 모두 높았으나, 이후는 관행보다 지표유출량은 비례하지만, 토양유실량은 작았다고 하였다. 본 연구에서도, 강우량과 강우침식인자인 8월 6일에서 TC의 지표유출량과 토양유실량이 가장 많은 것으로 조사(Fig. 3C)되었는데 이는 첫 집중강우로 인해 물 유출과 토양유실이 가장 많았고, 이후 8월 24일에 가장 높은 강우량이지만 토양유실은 상대적으로 적었다. 이는 이전의 강우에 의한 표토 토양구조 안정성이 유지된 상태에서 강우가 발생했기 때문인 것으로 추정된다. 반면 TC의 토양유출량은 강우량이 50 mm 이상인 경우 강우량에 비례해 지속적으로 높게 나타났다.

여러 학자들에 의해 연구되어 온 강우와 토양 침식과의 관계는 토양유실과 강우강도와 관련된 지수관계를 식으로 표현하거나 운동에너지와의 관계로 표시했다(Lim *et al.*, 2012).

Fig. 1과 Fig. 3은 생육시기별 피복률에 따른 지표유출량과 토양유실량의 관계를 나타내었다. 토양피복률이 높을수록 지표유출량과 토양유실량이 감소되었다. 생육초기인 7월 1일의

강우가 발생했을 때 나지인 TC 처리구의 지표유출량은 T1 처리구보다 2배, T2 처리구보다 3배 이상 높았으며, 토양유실량의 경우 T1 처리구에 비해 2배, T2 처리구와는 무려 36배 이상 높았다. 생육최성기 때인 9월 3일 강우 조사에서 TC 처리구 지표유출량이  $138 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$  비해 T1 및 T2는 모두  $32 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ 로 나지 대비 구절초 식재 처리구는 23% 이하의 매우 적은 지표유출량 나타내었다. 재배기간 동안 평균적인 지표유출량 경감 효과는 TC 처리구 대비 구절초 피복처리구인 T1 처리구는 71%, T2 처리구는 76%로 조사되었다. 또한, 토양유실량의 경우 TC보다 T1 처리구의 경우 84%, 재색밀도가 높은 T2 처리구의 경우 98% 토양유실이 감소되었다. 이러한 결과는 기존의 연구인 합리적인 식생을 유지함으로써 나지 상태의 토양 피복을 증대 시켜 주는 것이 토양유실의 원인이 되는 강우의 직접적인 타격을 줄여 줄일 수 있다는 결과(RDA, 2016)와 피복작물로 호밀과 헤어리베치를 재배하여 피복율을 높임으로써 토양유실을 저감시킨다는 결과 등과 일치하는 경향을 보였다(Lee *et al.*, 2005). Joo and Kim (2007)의 식생을 이용해 토양유실 저감효과를 규명하기 위해 경제성이 있는 산채작물을 대상으로 토양유실 저감 정도를 평가한 결과 배추포장에 비해 눈개승마와 참취 포장의 토양유실량이 반(1/2)으로 저감되었으며, 지표유출량 또한 상대적으로 적은 것으로 나타났다고 하였다. 배추밭은 눈개승마밭에 비해 2-3배 많은 토양유실량을 보였다고 하였다. 토양유실을 막는 산채작물로는 눈개승마가 매우 효과가 뛰어난 것으로 나타났다고 하였다. 시험기간 중 각 처리별 총 유출량과 토양유실량의 조사결과는 Table 2와 같다. Lee *et al.* (2011)은 관행 무처리구의 재배기간중 토양유실이 ha당 68.2 ton인 반면 호밀,

곰취, 벌개미취 피복으로 0.4, 3.0, 3.5 ton으로 관행대비 95-99% 토양유실 경감효과가 있다고 하였다. 나지상태의 경우 재배기간 중 총 토양유실량이 ha 당 1.64 ton인 반면 구절초 처리구인 T1과 T2는 토양유실량이 0.26 ton과 0.02 ton으로 각각 84%와 99%로 대조구인 TC 보다 유실량이 줄어들어 경감효과가 있으며 이중 재색밀도가 더 높은 T2 처리구가 더 우수한 경감효과를 나타내었다.

위와 같은 피복작물의 밀도에 따른 토양유실량 경감효과를 고려해 볼 때 강우가 집중되는 여름철 경사가 심한 곳에서 작물을 재배할 경우 토양 보전을 위한 최우선 적으로 고려할 사항은 토양을 잘 피복할 수 있는 피복작물 선정이 매우 중요함을 알 수 있었다(Lee, 2018). 특히 구절초 등 경관용 작물을 도입한 피복재배는 지표유출량 및 토양유실 경감, 유기수 탁도저감 효과뿐만 아니라 경사지의 경관용으로도 우수하며, 꽃차 등 가공식품으로도 활용이 가능하여 농가소득 증대에도 기여할 수 있다. 또한, 구절초의 경우 작물이 재배되지 않는 겨울철에도 월동이 가능한 영년생으로 동계 나지 토양의 피복효과가 매우 높은 뿐 아니라 매년 종자를 파종하는 번거로움이 없어 안정적인 토양관리가 가능할 것이다.

우리나라 경사 밭은 주로 산지를 개간하여 조성하여 작물이 재배되는 여름철 집중강우에 의해 많은 양의 토양이 유실된다. 특히 경사진 밭에서 전면경운에 의한 토양 교란은 구절초의 정식하고 나서 생육초기에 강우에 표토가 직접 노출되어 토양유실 위험이 가중되고 있다. 본 연구에서는 고랭지 구절초 재배의 경우 토양피복 작물 식재방법에 의한 토양유실 저감기술을 개발하고자 수행하였다. 토양피복 방법으로 대조구인 관행 나지

Table 2. Total water runoff and soil erosion according to the growing period used in the lysimeter experiment

Remark	Treatment	Soil surface covering rate (%)	Runoff water (ton/ha)	Soil erosion (ton/ha)
Flower field <sup>z</sup>	TC	0	1,573	1.64
	T1	49	460	0.26
	T2	73	376	0.02
Vegetable field <sup>y</sup>	Radish	37	2,994	68.2
	Radish+ Rye	89	1,215	0.4
	Radish+Fisher ligularia	70	1,472	3.0
	Montane aster	77	1,678	3.5

<sup>z</sup>This experiment data in *Chrysanthemum zawadskii* field is from Jun. 1 to Oct. 31 in 2018. Comparison of average soil surface coverage rate in sloped lysimeter with three treatments of planting density (TC, control without plant; T1, 40 plant/lysimeter; T2, 70 plant/lysimeter).

<sup>y</sup>Reference used was Lee's experiment data in Radish field from Jun. 25 to Oct. 6 in 2011.

TC, 실험구인 재배작물 구절초 T1, T2 등 3처리를 두었으며, 경사도 55% 라이시메타에서 지표유출량과 토양유실 특성과 피복 효과를 평가하였다. 본 연구 결과 경관작물 구절초 피복효과를 높여 토양유실 경감효과가 높아 경사밭 토양보전기술로 유용하리라 기대된다.

### 적 요

고랭지 농업(해발고도 400 m이상)은 주로 해발고도가 높은 산지의 경사지에서 이루어지고 있고, 대부분 작물 재배기간이 5월부터 9월까지(5개월)로 짧아, 나머지 7개월은 토양 피복이 이루어지지 않은 상태로 있어 토양유실 가능성이 높다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 본 연구에서 고랭지 경사도 55% 라이시미터(Lysimeter)에서 경관성이 높은 구절초를 식재하여 토양유실 저감 효과를 규명하였다. 관행구로 나지(Control, TC) 대비 식재 밀도에 따라 구절초 적은 그룹(T1, 40주), 구절초 많은 그룹(T2, 70주)로 하여 총 3처리를 두었다. 구절초의 재배기간(6-10월) 피복율을 조사한 결과 대조구인 나지상태인 TC는 0%의 피복율인데 반해 구절초 식재한 T1 처리구는 43-59%의 피복율을 보였으며, T2 처리구는 63-81%로 경사지 토양을 피복시키는 효과가 가장 좋았다. 재배기간 평균기온의 5개월 평균은 평균기온범위는 16.1℃로 나타났으며 강우량은 1207.9 mm로 나타났다. 재배기간 동안 평균적인 지표유출량 경감 효과는 TC 처리 대비 구절초 피복처리구인 T1 처리구는 71%, T2처리구는 76%로 우수하였다. 또한, 토양유실량의 경우 TC보다 T1처리구의 경우 84%, 재배밀도가 높은 T2 처리구의 경우 98%의 토양유실 감소효과를 보였다. 따라서, 고랭지 경사지에 영년생 자원식물 중 경관성이 뛰어난 구절초를 식재함으로써 경사지 토양유실을 경감시킬 수 있고, 부가가치가 높은 고소득작물로 활용 가능할 것으로 기대된다.

### 사 사

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(No. PJ01135704)의 지원에 의해 이루어진 결과로 이에 감사드립니다.

### References

Duran, Z.V.H. and P.C.R. Rodriguez. 2008. Soil-erosion and runoff prevention by plant covers, Review. Agron.

Sustainable Dev. 28:143-149.  
Duran, Z.V.H., P.C.R. Rodriguez, P.F.J. Martin, J. de Graaff, M.J.R. Francia and D.C. Flanagan. 2011. Environmental impact of introducing plant covers in the taluses of terraces: Implications for mitigating agricultural soil erosion and runoff. Catena 84:79-88.  
Eom, K.C., P.G. Jung, S.H. Choi, G.R. Eom, G.B. Lee and S.H. Kim. 2010. Basic research for soil erosion diminish. Ministry of Environment, Soil Institute. pp. 2-75 (in Korean).  
Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2000. Manual on integrated soil management and conservation practices. FAO Land and Water Bulletin. pp. 1024-6073.  
Foster, G.R., D.K. McCool, K.G. Renard and W.C. Moldenhauer. 1981. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. J. Soil Water Conserv. 36(6):355-359.  
Ghahramani, A., Y. Ishikawa, T. Gomi, K. Shiraki and S. Miyata. 2011. Effect of ground cover on splash and sheetwash erosion over a steep forested hillslope: A plot-scale study. Catena 85:34-47.  
Joo, J.H. and S.J. Kim. 2007. Evaluation of soil management practices using wild edible greens for reduction of soil erosion in highland. Korean J. Soil. Sci. Fert. 40:488-494 (in Korean).  
Kim, N.S., D.H. Jung, C.R. Jung, H.J. Kim, K.S. Jeon and H.W. Park. 2019. Comparison of growth and contents of active ingredients of *Angelica gigas* Nakai under different cultivation areas. Korean J. Plant Res. 32:448-456.  
Kim, S.J., J.E. Yang, C.S. Park, Y.S. Jung and B.O. Cho. 2007. Effects of winter cover crop of ryegrass (*Lolium multiflorum*) and soil conservation practices on soil erosion and quality in the sloping uplands. J. Appl. Bio. Chem. 50:22-28.  
Lee, G.J. 2018. Improvement of cultural method and introduction of perennial crop for the reduction of environment loading in slope upland of highland. Highland Agriculture Reserch Institute, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration. Pyengchang, Korea. pp. 4-51 (in Korean).  
Lee, J.S. and J.Y. Won. 2013. Analysis of the characteristic of monthly rainfall erosivity in Korea with derivation of rainfall energy Equation. J. Koshmam. 13(3):177-184.  
Lee, J.T., G.J. Lee, C.S. Park, S.W. Hwang and Y.R. Yeoung. 2005. Effect of hairy vetch (*Vicia villosa* Roth) sod culture on decreasing soil loss and providing nitrogen for Chinese



- cabbage in highland. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 38(5):294-300 (in Korean).
- Lee, J.T., G.J. Lee, J.S. Ryu, J.S. Kim, K.H. Hand and Y.S. Zhang. 2012. Evaluation of surface covering methods for reducing soil loss of highland slope in soybean cultivation. *Korean J. Soil. Sci. Fert.* 45:725-732 (in Korean).
- Lee, J.T., G.J. Lee, J.S. Ryu, S.W. Hwang, S.Y. Park, Y.S. Zhang and Y.S. Jeong. 2011. Application of reduce tillage with a strip tiller and its effect on soil erosion reduction in Chinese cabbage cultivation. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(6):970-976 (in Korean).
- Lim, Y.S, J.W. Kim, J.K. Kim and B.I. Park. 2012. Evaluation of kinetic energy of raindrops at Daejeon city using laser-optical disdrometer. *J. Korean Geomorpholo. Asso.* 19(2): 133-143.
- Liu, B.Y., M.A. Nearing, P.J. Shi and Z.W. Jia. 2000. Slope length effects on soil loss for steep slopes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64(5):1759-1763.
- Ministry of Environment (ME). 2004. Comprehensive solution for reducing non-point pollution in highland areas. pp. 33-44 (in Korean)
- \_\_\_\_\_. 2014. Technical report of non-point pollution abatement. Research group of non-point pollution source management technology, ME. [www.me.go.kr](http://www.me.go.kr) (in Korean).
- National Academy of Agricultural Science (NAAS). 2000. The standard method of soil and plant analysis. National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Suwon, Korea. pp. 29-134 (in Korean).
- National Climate Data Service System (NCDSS). 2018. <http://sts.kma.go.kr> (in Korean)
- National Institute of Agricultural Sciences (NAS). 2017. Soil and nutrient management using Korean soil information system (SIS). National Institute of Agricultural Sciences. National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea. pp. 6-10 (in Korean).
- National Institute of Agricultural Science and Technology (NIAST). 2000. Report of farm soil environmental maintenance management (1995-1999). National Institute of Agricultural Science and Technology, Rural Development Administration, Suwon, Korea. pp. 164-172 (in Korean).
- \_\_\_\_\_. 2006. Fertilizer application recommendation for crops. National Institute of Agricultural Science and Technology, Rural Development Administration, Suwon, Korea. pp. 87-130 (in Korean).
- National Institute of Highland Agriculture (NIHA). 2000. Technology for vegetable cultivation in highland. National Institute of Highland Agriculture, Rural Development Administration, Pyeongchang, Korea. pp. 17-22 (in Korean).
- Park, C.W., Y.K. Sonn, B.K. Hyun, K.C. Song, J.C. Chun, Y.H. Moon and S.G. Yun. 2011. The redetermination of USLE rainfall erosion factor for estimation of soil loss at Korea. *Korean J. Soil. Sci. Fert.* 44(6): 977-982.
- Park, S.D., K.S. Lee and S.S. Shin. 2012. A statistical soil erosion model for burnt mountain areas in Korea - RUSLE approach. *J. Hydro. Engineering ASCE.* pp. 292-304.
- Rural Development Administration (RDA). 2015. Field soil management and fertilizer use. RDA, Joenju, Korea. pp. 224-226 (in Korean).
- Rural Development Administration (RDA). 2016. Agricultural technology guide of landscape crop. RDA, Joenju, Korea. p. 123 (in Korean).
- Shin, S.S., S.D. Park, J.W. Cho and K.S. Lee. 2008. Effects of vegetation recovery for surface runoff and soil erosion in burned mountains, Yangyang. *J. Korean Soc. Civil Eng.* 28(48):393-403.
- Shin, S.S., S.D. Park and K.S. Lee. 2013. Sediment and hydrological response to vegetation recovery following wildfire on hillslopes and the hollow of a small watershed. *J. Hydrology* 499:154-166.
- Shin, S.S., S.D. Park and B.K. Choi. 2016. Universal power law for relationship between rainfall kinetic energy and rainfall intensity. *Advan. Meteorol.* pp. 1-11. doi: 10.1155/2016/2494681
- Shin, S.S., S.D. Park, F.B. Pierson and C.J. Williams. 2019. Evaluation of physical erosivity factor for interrill erosion on steep vegetated hillslopes. *J. Hydrology* 571:559-572.
- Shin, S.S., S.D. Park and K.S. Lee. 2013. Sediment and hydrological response to vegetation recovery following wildfire on hillslopes and the hollow of a small watershed. *J. Hydrology* 499:154-166.
- Wonju Regional Environment Agency (WREA). 2016. Monitoring and evaluation of Doam lake nonpoint source. Wonju Regional Environment Agency, Ministry of Environment. Wonju, Korea. pp. 49-80 (in Korean).
- Yang, J.E. and Y.S. Jung. 2004. Evolving sustainable production systems in sloping upland areas-land classification issues and options. *Asian Prod. Organ., Tokyo, Japan.* pp. 136-155.

(Received 15 August 2019 ; Revised 19 December 2019 ; Accepted 7 January 2020)