Estimation of Upland Soil Loss and Canopy Cover Subfactor under Soybean Cultivation Using Slope Lysimeter

Jung-hun Ok^{1*}, Jeong-woo Son¹, Seon-ah Hwang¹, Hyub-sung Lee², and Bu-yeong Oh¹

¹Researcher, Division of Soil and Fertilizer, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

²Post-Master Fellow, Division of Soil and Fertilizer, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

*Corresponding author: okjh@korea.kr

ABSTRACT

Received: November 2, 2021

Revised: November 16, 2021

Accepted: November 16, 2021

ORCID

Jung-hun Ok

<https://orcid.org/0000-0002-5854-0179>

This study was conducted to estimate the upland soil loss and canopy cover subfactor for revised universal soil loss equation (RUSLE) on different soil types using a slope lysimeter. The lysimeters were installed with 13% steepness, 25 m length, 2 m width under three different soil textures which were clay loam (CL), loam (L), and sandy loam (SL). The experiment was done for five months from 27-May to 29-October, 2020 and the soybean seedling was transplanted on 27-May and harvested on 29-October. Upland soil loss and runoff, soybean growth response, and meteorological data were monitored. Total eight times rainfall events recorded 710.5 mm precipitation, resulting in rainfall intensity (EI_{30}) of 3,351.6 MJ mm ha⁻¹ hr⁻¹. Total amounts of soil loss from uncultivated and soybean cultivated soils were 31.8 and 6.9 ton ha⁻¹ for CL, 32.3 and 16.8 ton ha⁻¹ for L lysimeter, 61.04 and 14.4 ton ha⁻¹ for SL, respectively. In addition, the canopy cover subfactor of RUSLE values for CL, L, and SL were 0.564, 0.507, and 0.371, respectively. The highest soil loss was measured at 18 days after soybean transplanting (DAT18), occupied 75% of total soil loss over whole experiment period.

Keywords: Canopy cover subfactor, Slope lysimeter, Soil textures, Soybean, Upland soil loss

The upland soil loss on different soil textures using slope lysimeters in 2020.

Rainfall event (DAT [†])	Precipitation (mm)	EI_{30} (MJ mm ha ⁻¹ hr ⁻¹)	CL [†] (ton ha ⁻¹)			L (ton ha ⁻¹)			SL (ton ha ⁻¹)		
			Bare	Soybean	Soybean/Bare	Bare	Soybean	Soybean/Bare	Bare	Soybean	Soybean/Bare
DAT18	98.0	384.9	1.7 (±1.2)	4.9 (±0.9)	2.82	9.3 (±2.8)	12.9 (±0.5)	1.38	11.0 (±10.2)	10.9 (±1.8)	0.99
DAT41	61.0	172.0	3.8 (±0.1)	0.4 (±0.1)	0.12	5.4 (±3.8)	0.8 (±0.1)	0.15	9.7 (±10.0)	0.4 (±0.1)	0.04
DAT47	158.5	744.8	4.2 (±1.2)	0.4 (±0.1)	0.09	7.0 (±6.6)	0.9 (±0.0)	0.12	10.1 (±3.4)	0.6 (±0.1)	0.05
DAT55	41.5	213.4	5.0 (±3.2)	0.1 (±0.0)	0.02	2.9 (±3.0)	0.3 (±0.0)	0.09	5.3 (±1.4)	0.3 (±0.0)	0.05
DAT64	159.5	1,408.3	10.5 (±5.1)	0.6 (±0.5)	0.06	3.7 (±4.4)	1.1 (±0.1)	0.30	12.1 (±4.3)	0.8 (±0.2)	0.06
DAT76	61.5	145.4	3.4 (±3.2)	0.2 (±0.0)	0.05	1.1 (±0.7)	0.4 (±0.1)	0.33	3.3 (±0.4)	0.6 (±0.4)	0.18
DAT99	60.0	141.4	3.0 (±0.7)	0.1 (±0.0)	0.03	1.3 (±0.6)	0.2 (±0.1)	0.19	4.9 (±0.4)	0.6 (±0.2)	0.11
DAT103	70.5	141.4	0.1 (±0.1)	0.2 (±0.1)	1.80	1.5 (±0.6)	0.2 (±0.1)	0.11	4.9 (±2.0)	0.3 (±0.1)	0.06
Total	710.5	3,351.6	31.8	6.9	0.22	32.3	16.8	0.52	61.4	14.4	0.23

[†] CL, L, and SL indicated clay loam, loam, and sandy loam, respectively.

[†] DAT, day after transplanting.

Introduction

최근 들어 기후변화로 인한 강우 편차가 급격히 증가하고 있고, 가뭄과 홍수와 같은 자연재해, 토양침식 등으로 인한 비점오염 증가, 농작물 생산량의 감소 등 사회·경제적 손실이 증가하고 있다. 토양침식은 OECD 농업환경 지표 중의 하나로 농업에 대한 환경 부하의 핵심 문제로 지적되고 있으며 (OECD, 1982, 2001), 인간활동에 의해 발생하는 가속침식은 자연적인 지질침식보다 10 - 1,000배 심하게 발생하고 있다 (Brady and Weil, 2007). 우리나라 연평균 토양 유실량은 $34.56 \text{ ton ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 로 추정되었으며 연차간 차이가 크게 발생하는 것으로 보고된 바 있다 (Jung et al., 2004; Jang et al., 2015). 특히 우리나라 국토는 약 65%가 산악지형으로 구성되어 있고 경사도 2% 미만인 토양은 불과 16.8%이기 때문에 우기에 발생하는 토양침식은 상당한 수준으로 앞으로 농경지 토양침식은 기후변화에 따라 심화될 것으로 추정되고 있다. 토양유실량 산정은 공인된 모형을 사용하고 있는데 미국농무성 (USDA)에서 1930년부터 축적된 농업환경 데이터를 바탕으로 개발한 범용토양침식공식 (USLE) 모형 (Wischmeier and Smith, 1978)과 USLE 모형을 수정·보완하여 개발한 RUSLE (revised universal soil loss equation) 모형 (Renard et al., 1997)이 널리 사용되고 있으며, 공간분석기능 (GIS)과 결합하여 전국단위의 토양침식을 평가하기 위한 모델 개발이 활발히 진행 중에 있다 (Jung et al., 2005). 한편, 토양침식 위험성은 농업분야 기후변화 실태조사 및 영향·취약성 평가의 핵심 지표로 강우인자, 식생피복인자 등 주요 토양침식과 관련된 인자는 지속적인 자료 현행화 및 데이터 축적이 필요하며 우리나라 강우강도와 다양한 토양 특성에 대한 정량적 데이터 확보는 중요하다. 따라서 본 연구에서는 국제 표준에 맞는 경사지 라이시미터 시설을 활용하여 콩 재배시 강우사상별 토양유실량과 식생피복인자를 산정하고 토성별로 비교하였다.

Materials and Methods

경사지 라이시미터 구성 및 토양유실량 조사 미국농무성에서 토양유실 측정을 위한 표준시험구로 가로 2.0 m 이상, 세로 22.4 m 이상의 규모를 기준으로 하고 있다. 국립농업과학원에 설치된 경사지 라이시미터 (위도 $35^{\circ}49'29''$, 경도 $127^{\circ}02'46''$)는 가로 2.0 m, 세로 25 m의 시설로 경사도는 우리나라 밭토양 평균 경사인 13%로 설치되었다. 토양은 우리나라 밭토양에서 상대적으로 높은 비중을 차지하는 식양토 (clay loam), 양토 (loam), 사양토 (sandy loam)의 3가지 토성을 선정하였으며 토성별로 2반복으로 구성하였다 (Table 1).

Table 1. Soil physical properties used in this study.

Soil texture [†]	Bulk density (Mg m^{-3})	Porosity (%)	Particle size distribution (%)		
			Sand	Silt	Clay
CL	1.34 a [‡]	49.4 a	13.8	49.7	36.5
L	1.40 a	47.2 a	37.2	36.1	26.7
SL	1.41 a	47.0 a	63.7	24.9	11.5

[†]CL, L, and SL indicated clay loam, loam, and sandy loam, respectively.

[‡]Numbers followed by different letters within a row are significant at $p < 0.05$ using Duncan's multiple range test.

유출수량과 토양유실량은 유출된 물과 토양이 중력에 의해 자동으로 회전하는 분취기 (특허10-1334791, 1/100 비율 샘플러)를 통과한 시료를 300 L 용량의 플라스틱 용기에 집적시킨 후 유출수량은 집적된 물의 높이를 측정하여

조사하였고, 토양유실량은 500 mL를 스테인리스 용기에 다시 채집하여 105°C에서 18시간 이상 완전 건조시킨 후 무게를 측정하여 조사하였다.

토양 이화학적 분석 토양은 라이시미터 표토 15 cm 이내의 토양시료를 채취하여 토양 및 식물체분석법 (NAAS, 2011)에 준하여 pH, EC, 유기물함량, 유효인산, 교환성양이온 등을 분석하였다. 유기물함량은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법, 교환성양이온은 1.0 M NH₄OAc (pH 7.0)으로 추출하여 유도결합플라즈마 분광광도계 (ICP-OES, GBC, Integra XL Dual, Australia)로 정량화하였다. 토성은 비중계법으로 분석하여 미국농무성의 토성삼각표 (soil texture triangle)에 따라 결정하였다. 용적밀도와 삼상은 Core법에 준하여 2인치 (100 mL) 코어를 이용하여 토양시료를 채취하고 건조 전후의 무게 측정을 통하여 산정하였다 (Blake and Hartge, 1986).

작물 재배 및 식생피복인자 산정 작물재배는 농촌진흥청의 표준재배법에 준하여 콩 (대원콩)을 이랑 60 × 포기 30 cm 간격으로 1주 2본 (2,400본 10a⁻¹)으로 정식하였고, 비료는 작물별 비료사용처방 (NIAS, 2017)의 표준시비량을 기준으로 요소-용성인비-염화칼리를 6.5-15-5.7 kg 10a⁻¹로 작물정식 2주전에 투입하고 경운하였다. 콩 재배는 5월 27일부터 10월 29일까지 재배하였으며, 수확 후 경장, 생체중, 수량 등의 생육조사를 실시하였다. 나지 처리구는 작물재배 처리구와 동일한 시기에 경운을 실시하고 이후 잡초제거를 주기적으로 실시하여 항상 나지 상태를 유지하도록 관리하였다.

토양침식량 산정을 위하여 미국농무성 (USDA)에서 농업환경 데이터를 바탕으로 개발한 범용토양침식공식 (USLE)을 널리 사용되고 있으며 (Wischmeier and Smith, 1978), 이 모형에서 식생피복인자는 무피복 상태에 대한 피복상태의 토양유실량의 비로 표현되며 아래와 같다.

$$C = \sum (\sum A_c i / \sum A_i) / N \quad (\text{Eq. 1})$$

여기서, A_c는 피복 상태에서 토양유실량, A는 무피복 상태에서 토양유실량, i는 측정년도, N은 측정기간 (년)이다.

그리고 Renard et al. (1997)은 USLE 모형을 수정하여 RUSLE 모형을 개발하였으며 여러 인자 중 식생피복인자 (C factor)을 산출하는 공식은 다음과 같다.

$$\text{Cover management factor} = (SLR_1 \cdot EI_1 + SLR_2 \cdot EI_2 + \cdots SLR_N \cdot EI_N) / EI_T \quad (\text{Eq. 2})$$

여기서, 식생피복인자는 15일 간격으로 측정된 토양유실률 (soil loss ratio, SLR)과 EI (kinetic energy times intensity)를 이용해 구할 수 있고, SLR의 요인으로는 토양수분인자 (soil moisture subfactor, SM), 지표피복인자 (surface cover subfactor, SC), 이전토지이용인자 (prior land use subfactor, PLU), 수관피복인자 (canopy cover subfactor, CC), 지표거칠기인자 (surface roughness subfactor, SR)가 있다. 본 연구에서는 수관피복인자를 산정하였으며 다음의 식을 적용하였다.

$$\text{Canopy cover subfactor } (0 - 1) = 1 - F_c \cdot \exp(-0.1 \cdot H) \quad (\text{Eq. 3})$$

여기서, F_c 는 식물체에 의한 피복률, H 는 피복된 식물체의 높이 (ft)이다.

기상 데이터 및 강우사상 분석 기상데이터는 경사지 라이시미터 시설 인근에 설치된 기상장치를 활용하여 시간별 강우량, 온도, 일사량, 풍속 등의 데이터를 수집하였고, 평년 (1991 - 2020)의 기상데이터는 전주기상대 데이터를 이용하였다. 강우사상은 1회 강우량이 12.7 mm 이상, 강우 간 간격이 6시간 이내일 때는 1회 강우사상, 6시간 이상 일 때는 2회 강우사상으로 정의하였으며 (Wischmeier and Smith, 1978), 본 연구에서는 60분 단위 강우자료를 이용하였기 때문에 15분 이내 6.25 mm 이상의 강우는 강우사상으로 포함하지 않았다 (Park et al., 2011).

통계분석 시험에 사용된 토성간의 유의성 검증은 Duncan's multiple range test를 실시하였고 유의수준은 0.05를 기준으로 분석하였다. 통계분석 프로그램은 SPSS (statistical package for the social sciences, ver. 18.0, SPSS, Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하였다.

Results and Discussion

작물 재배기간 동안 기상 특성 기상데이터는 경사지 라이시미터 인근에 설치한 기상장치에서 수집된 자료와 전주기상대 평년 (1991 - 2020) 자료와 비교하였다 (Fig. 1). 콩 재배기간 동안의 월별 평균 온도는 전주지역의 평년온도 변화와 유사한 경향을 보였으나 7월에는 약 2.5°C 낮게, 8월에는 1.1°C 높게 나타났다. 강우량의 경우, 콩 재배기간 동안 누적 강우량은 1,525.9 mm로 나타났으며 7월과 8월에 많은 강우량을 보였으며, 토양유실량에 중요한 영향을 미치는 12.7 mm 이상 연속강우는 총 9회가 발생하였다. 평년 (1991 - 2020) 기준으로 보면 우리나라는 일반적으로 7월과 8월에 높은 강우량은 보이는 데 2020년에도 비슷한 경향을 보였으나 평년 대비 7월은 1.9배, 8월은 2.1배 높은 강우량을 보였다. 또한 콩 정식 후 18일이 경과된 6월 13일에 98 mm의 강우량이 발생하였으며 이 시기는 콩의 식생피복률이 낮은 시기로 토양유실이 많이 발생할 것으로 예상되었다.

시험전 토양의 이화학적 특성 콩 재배전 표토의 화학적 특성은 Table 2에 나타내었다. 식양토, 양토, 사양토에서 시험전 토양의 pH는 각각 5.7, 6.4, 6.5로 식양토가 다소 낮게 나타났으며, 유기물함량은 16, 15, 9 g kg⁻¹으로 전반적으로 적정범위보다 낮게 나타나 콩 정식 전에 비료와 함께 2,000 kg 10a⁻¹ 기준으로 가축분퇴비를 추가적으로 투입하여 토양내 유기물을 보완하였다. 시험전 토성간 화학성 비교에서는 유기물함량을 제외하고는 식양토가 낮은 양분함량을 보였으며 유효인산과 교환성양이온 등 전체적으로 양분함량이 부족하게 나타났는데 이것은 다년간의 시험기간 동안 강우로 표토유실과 함께 양분손실도 발생한 것이 주요 원인으로 생각된다. 용적밀도와 공극률은 토성간의 통계적인 유의한 차이는 나타나지 않았다 (Table 1).

Fig. 1. Monthly variation of precipitation, cumulative solar radiation, wind speed and temperature in normal year (1991 - 2020) and 2020. [†]The meteorological data of Jeonju in normal year (1991 - 2020) collected from KMA (2020).

Table 2. Soil chemical properties used in this study before transplanting in 2020.

Soil texture [†]	pH (1:5, H ₂ O)	EC [‡] (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. Cation (cmol _c kg ⁻¹)		
					K	Ca	Mg
CL	5.7 b [§]	0.20 a	16 a	33 b	0.2 b	2.8 b	2.8 a
L	6.4 a	0.16 ab	15 a	92 ab	0.3 a	4.6 a	3.0 a
SL	6.5 a	0.12 b	9 b	115 a	0.1 b	4.4 a	2.5 a

[†]CL, L, and SL indicated clay loam, loam, and sandy loam, respectively.

[‡]EC, electrical conductivity; OM, organic matter.

[§]Numbers followed by different letters within a row are significant at $p < 0.05$ using Duncan's multiple range test.

콩 수확 후 생육조사 콩 생육조사는 초장, 경경, 식물체생체중, 협곡생체중을 실시하였다 (Table 3). 콩 초장은 식양토 64.7, 양토 61.6, 사양토 79.0 cm이었고, 경경은 식양토 12.1, 양토 10.6, 사양토 11.5 mm로 나타났다. 식물체 생체중은 식양토 185.2, 양토 229.4, 사양토 406.0 g plant⁻¹로, 협곡생체중은 식양토 17.9, 양토 20.8, 사양토 20.3 g plant⁻¹로 나타나 토성간 수량의 비교에서는 사양토에서 전반적으로 생육상태가 다소 좋은 것으로 나타났다. 콩의 피복률은 약 15일 간격으로 측정하였으며 콩 정식 16일 후 피복률은 19.5 - 37.1%, 37일 후 71.7 - 95.2%, 62일 후에는 87% 이상을 유지하였는데 9월 중순 이후 점차 감소하는 경향을 보였다. 토성간의 피복률을 비교해 보면 사양토 > 양토 > 식양토 순으로 높은 경향을 보였는데 이는 콩 생육조사 결과와도 유사한 경향을 보였다. 콩은 공기 중 질소고정이 가능한 작물이어서 유기물함량이 낮음에도 불구하고 유효인산 함량이 115 g kg⁻¹로 상대적으로 높았던 사양토에서 생육상태가 양호하게 나타났으며 식양토의 경우 유기물함량이 높음에도 불구하고 낮은 토양 pH와 유효인산함량이 콩 생육에 영향을 미친 것으로 생각되었다.

Table 3. Growth response for soybean cultivation on different upland soil textures in slope lysimeter in 2020.

Soil texture [†]	Plant height (cm)	Stem width (mm)	Plant weight (fresh, g plant ⁻¹)	Grain weight (fresh, g plant ⁻¹)
CL	64.7 b [‡]	12.1 a	185.2 b	17.9 a
L	61.6 b	10.6 b	229.4 b	20.8 a
SL	79.0 a	11.5 ab	406.0 a	20.3 a

[†]CL, L, and SL indicated clay loam, loam, and sandy loam, respectively.

[‡]Numbers followed by different letters within a row are significant at $p < 0.05$ using Duncan's multiple range test.

콩 재배에 따른 토양유실량 및 식생피복인자 비교 경사지 라이시미터에서 콩 재배기간 동안에 강우사상별 유출수량과 토양유실량을 산정하고 토성에 따라 비교하였다 (Tables 4, 5). 강우는 강우량, 지속기간, 강우강도, 강우시기에 따라 상이하고 토양유실에 가장 영향을 미치는 요인이다. 콩 정식 (5월 27일) 후 여러 차례 강우가 발생하였으며 이 중에서 실제로 토양유실이 발생한 것은 총 9회 발생하였으나 1회는 측정 장치의 오류로 결측되었다. 8회에 해당하는 누적강우량은 710.5 mm이었고, 강우에너지의 합은 3,351.6 MJ mm ha⁻¹ hr⁻¹로 나타났다. 한 번의 강우사상에 100 mm 이상 강우량을 보인 경우는 DAT47, DAT64으로 2차례 있었으며 강우에너지는 각 744.8, 1,408 MJ mm ha⁻¹ hr⁻¹로 나타나, 이 시기의 강우량과 강우에너지는 전체의 44.8%, 64.2%에 해당하였다.

콩 재배 기간 중 유출수량의 토성간 비교에서는 나지 기준으로 사양토 (6,035.9) > 양토 (5,947.3) > 식양토 (4,565.5 ton ha⁻¹) 순으로, 콩 재배기 기준으로는 사양토 (4,946.4) > 양토 (4,558.1) > 식양토 (2,924.8 ton ha⁻¹) 순으로 많은 것으로 나타났으며, 나지 대비 콩 재배의 유출수량은 64.1 - 82.0% 수준이었다 (Table 4). 토양유실량은 나지 기준으로 사양토 (61.4) > 양토 (32.3) > 식양토 (31.8 ton ha⁻¹) 순으로, 콩 재배기 기준으로는 양토 (16.8) > 사양토 (14.4) > 식양토 (6.9 ton ha⁻¹) 순으로 많은 것으로 나타났으며, 나지 대비 콩 재배의 토양유실은 21.7 - 52.0% 수준이었다 (Table 5). 식양토에서 유출수량과 토양유실량 모두 가장 낮은 경향을 보였으며 Lee et al. (2007)도 토성별 유출특성 평가에서 식양토의 유거수량이 가장 적게 배출됨을 확인하였는데 본 연구와도 유사한 결과를 보였다. 하지만 강우량과 강우강도의 증가에 따라 유거수량 증가 비율은 모든 토성에서 선형적으로 증가하는 경향을 보였으나 본 연구에서는 토성간의 뚜렷한 경향을 확인할 수는 없었다. 토성은 투수속도, 물 유출률, 전단강도, 입단 안정화도에 영향을 미쳐 점토함량이 입단 안정화도와 토양차폐 형성에 주요한 요인 중 하나이다 (Troeh et al., 1999; Lado et al., 2004). 식양토와 같이 세립질 토양일수록 강우 타격에 의해 토립이 쉽게 입단으로부터 분리·분산되어 토양 표면에 피복되거나 공극을

충진하게 되는데, 점토함량 30% 이상인 토양은 입단안정도가 커서 토양 투수력과 기공률이 유지되므로 토양침식성이 작아지는 것으로 보고된 바 있다 (Ben-Hur et al., 1985).

강우사상별로 살펴보면 콩 정식 후 DAT18에서 콩 재배기 기준 토양유실량은 4.9 (식양토), 12.9 (양토), 11.9 ton ha⁻¹ (사양토)으로 가장 높게 나타났으며 전체 토양유실량의 약 75% 수준이었다. 이는 콩 생육 초기 작물 피복률이 낮고, 정식으로 표토교란 상태에서 발생한 강우가 주요한 요인으로 생각된다. DAT18을 제외하면 강우량 또는 강우강도가 높아질수록 모든 토성에서 토양유실량이 증가하는 경향을 보였으며, 비슷한 강우강도의 경우 (DAT76, DAT99, DAT103)에는 콩에 의한 토양 피복률이 증가함에 따라 상대적으로 유출수량과 토양유실량이 적게 발생하는 경향을 보였다.

콩 재배에 따른 USLE 식생피복인자를 무피복상태에 대한 피복상태의 토양유실량의 비로 산정하였다 (Table 4). 본 연구기간 동안의 USLE 식생피복인자값은 0.32 (±0.17)로 산정되었으며, 식양토 0.22, 양토 0.52, 사양토 0.23으로 나타났다. 식생피복인자는 작물 생육초기에 강우가 많을수록 커지며 피복이 충분히 이루어진 생육후기에 강우가 많으면 작아지는데 Jung et al. (2004)이 제시한 0.19 (±0.10)보다 다소 높게 산정되었으며 다년간의 추가시험을 통하여 정확한 값을 도출할 수 있을 것으로 판단된다. RUSLE에 식생피복인자의 요인 중 콩의 수관피복인자는 식양토 0.564, 양토 0.507, 사양토 0.371로 산정되었으며 콩의 식생피복률이 높아지고 식물체의 초장이 높아지는 생육 중·후기로 갈수록 낮아지는 경향을 보였다. Lee et al. (2007)은 콩의 식생피복인자값을 식양토 0.334, 양토 0.331, 사양토 0.330으로 보고하였는데 본 연구와 비교하여 다소 낮은 값을 보였다. 수관피복인자도 연차별 강우양상과 작물 생육상태에 따라 상당한 변이가 있으므로 보다 정확한 산정을 위해서는 여러 차례의 반복 시험을 통하여 산출해야 할 것으로 판단된다.

Table 4. The runoff volume on different soil textures using slope lysimeters in 2020.

Rainfall event (DAT [†])	Precipitation (mm)	EI30 (MJ mm ha ⁻¹ hr ⁻¹)	CL [†] (ton ha ⁻¹)		L (ton ha ⁻¹)		SL (ton ha ⁻¹)	
			Bare	Soybean	Bare	Soybean	Bare	Soybean
DAT18	98.0	384.9	365.1 (±156.7)	456.1 (±5.0)	831.4 (±231.0)	899.9 (±77.3)	844.1 (±197.5)	864.9 (±73.7)
DAT41	61.0	172.0	237.6 (±58.2)	192.8 (±11.6)	508.3 (±97.1)	291.3 (±36.3)	535.8 (±111.8)	228.4 (±52.7)
DAT47	158.5	744.8	912.4 (±178.1)	669.2 (±86.9)	1,324.7 (±392.9)	887.0 (±38.9)	1,221.4 (±151.7)	926.8 (±126.8)
DAT55	41.5	213.4	393.8 (±275.2)	179.0 (±11.3)	337.5 (±85.4)	240.0 (±9.2)	337.0 (±63.7)	244.5 (±63.4)
DAT64	159.5	1,408.3	1,361.6 (±424.5)	745.1 (±102.6)	1,531.5 (±458.1)	1,188.3 (±167.7)	1,590.3 (±5.9)	1,444.5 (±333.6)
DAT76	61.5	145.4	546.6 (±348.9)	382.3 (±59.0)	594.8 (±125.1)	484.5 (±40.8)	581.0 (±48.3)	493.6 (±84.9)
DAT99	60.0	141.4	515.3 (±43.4)	148.7 (±13.0)	586.7 (±103.0)	233.9 (±35.2)	583.0 (±175.8)	395.8 (±32.1)
DAT103	70.5	141.4	233.1 (±242.1)	151.7 (±1.3)	232.4 (±116.9)	333.2 (±32.8)	343.3 (±112.6)	347.8 (±9.9)
Total	710.5	3,351.6	4,565.5	2,924.8	5,947.3	4,558.1	6,035.9	4,946.4

[†]CL, L, and SL indicated clay loam, loam, and sandy loam, respectively.

[†]DAT, day after transplanting.

Table 5. The upland soil loss on different soil textures using slope lysimeters in 2020.

Rainfall event (DAT [†])	Precipitation (mm)	EI ₃₀ (MJ mm ha ⁻¹ hr ⁻¹)	CL [†] (ton ha ⁻¹)			L (ton ha ⁻¹)			SL (ton ha ⁻¹)		
			Bare	Soybean	Soybean/Bare	Bare	Soybean	Soybean/Bare	Bare	Soybean	Soybean/Bare
DAT18	98.0	384.9	1.7 (±1.2)	4.9 (±0.9)	2.82	9.3 (±2.8)	12.9 (±0.5)	1.38	11.0 (±10.2)	10.9 (±1.8)	0.99
DAT41	61.0	172.0	3.8 (±0.1)	0.4 (±0.1)	0.12	5.4 (±3.8)	0.8 (±0.1)	0.15	9.7 (±10.0)	0.4 (±0.1)	0.04
DAT47	158.5	744.8	4.2 (±1.2)	0.4 (±0.1)	0.09	7.0 (±6.6)	0.9 (±0.0)	0.12	10.1 (±3.4)	0.6 (±0.1)	0.05
DAT55	41.5	213.4	5.0 (±3.2)	0.1 (±0.0)	0.02	2.9 (±3.0)	0.3 (±0.0)	0.09	5.3 (±1.4)	0.3 (±0.0)	0.05
DAT64	159.5	1,408.3	10.5 (±5.1)	0.6 (±0.5)	0.06	3.7 (±4.4)	1.1 (±0.1)	0.30	12.1 (±4.3)	0.8 (±0.2)	0.06
DAT76	61.5	145.4	3.4 (±3.2)	0.2 (±0.0)	0.05	1.1 (±0.7)	0.4 (±0.1)	0.33	3.3 (±0.4)	0.6 (±0.4)	0.18
DAT99	60.0	141.4	3.0 (±0.7)	0.1 (±0.0)	0.03	1.3 (±0.6)	0.2 (±0.1)	0.19	4.9 (±0.4)	0.6 (±0.2)	0.11
DAT103	70.5	141.4	0.1 (±0.1)	0.2 (±0.1)	1.80	1.5 (±0.6)	0.2 (±0.1)	0.11	4.9 (±2.0)	0.3 (±0.1)	0.06
Total	710.5	3,351.6	31.8	6.9	0.22	32.3	16.8	0.52	61.4	14.4	0.23

[†]CL, L, and SL indicated clay loam, loam, and sandy loam, respectively.

[‡]DAT, day after transplanting.

Conclusions

기후변화로 인한 강우의 편차는 급격히 증가하고 있고, 이로 인해 토양침식 등 비점오염 증가, 농작물 생산량의 감소 등 사회·경제적 손실이 증가하고 있다. 토양침식은 OECD 농업환경 지표 중의 하나로 농업에 대한 환경 부하의 핵심 문제로 지적되고 있어 본 연구에서는 국제 표준에 맞는 경사지 라이시미터 시설을 활용하여 콩 재배시 강우사상별 토양유실량을 조사하고 식생피복인자를 산정하여 토성별로 평가하였다. 토성별로 토양유실량을 비교한 결과, 나지 기준으로 사양토 (61.4) > 양토 (32.3) > 식양토 (31.8) 순으로, 콩 재배기 기준으로는 양토 (16.8) > 사양토 (14.4) > 식양토 (6.9) 순으로 많은 것으로 나타나 식양토에서 가장 낮은 토양유실량을 보였는데 토성에 따라 경향이 다를 수 있었다. 강우사상별로 토양유실량을 비교한 결과, 콩 정식 직후 발생한 강우에서 가장 많은 값 (DAT18)을 보였는데 이는 전체 토양유실량의 약 75% 수준으로 경운과 작물 정식 후 표토관리의 중요성을 확인할 수 있었다. 또한 수 관피복인자는 식양토 0.564, 양토 0.507, 사양토 0.371로 산정되었으며 콩의 피복률과 초장이 높을수록 값은 낮아짐을 확인할 수 있었다. 경사지에서 토양유실은 연도별 강우 특성과 시기에 따라 많은 편차가 발생하기 때문에 본 연구의 결과로만 판단하면 작물 생육초기의 토양 피복도 확보 등 표토관리는 토양보전 측면에서 매우 중요한 것으로 생각되며 이후 토양유실량 산정 고도화와 표토관리 방안 마련을 위한 지속적인 연구 수행이 필요할 것으로 생각된다.

Acknowledgement

This study was financially supported by a grant from the research project (No. PJ01482101) of National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Ben-Hur, M., I. Shainberg, D. Bakker, and R. Keren. 1985. Effect of soil texture and CaCO_3 content on water infiltration in crusted soil as related to water salinity. *Irrig. Sci.* 6:281-284.
- Blake, G.R. and K.H. Hartge. 1986. Bulk density in methods of soil analysis. In A. Klute (ed.) *Method of soil analysis, Part 1* (2nd edition). American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
- Brady, N.C. and R.R. Weil. 2007. *The nature and properties of soils*, 14th edition. Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA.
- Jang, C.W., Y.C. Shin, D.H. Kum, R.G. Kim, J.E. Yang, S.C. Kim, S.I. Hwang, K.J. Lim, J.K. Yoon, Y.S. Park, and Y.H. Jung. 2015. Assessment of soil loss in South Korea based on land-cover type. *Stochastic Environ. Res. Risk Assess.* 29:2127-2141.
- Jung, K.H., W.T. Kim, S.O. Hur, S.K. Ha, P.K. Jung, and Y.S. Jung. 2004. USLE/RUSLE factors for national scale soil loss estimation based on the digital detailed soil map. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37:199-206.
- Jung, K.H., Y.K. Sonn, S.K. Hong, S.O. Hur, and S.K. Ha. 2005. Assessment of national soil loss and potential erosion area using the digital detailed soil maps. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 38:59-65.
- Lado, M., M. Ben-Hur, and I. Shainberg. 2004. Soil wetting and texture effects on aggregate stability seal formation and erosion. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:1992-1999.
- Lee, H.H., S.K. Ha, S.O. Hur, K.H. Jung, C.W. Park, and K.H. Kim. 2007. Characteristics of soil water runoff and canopy cover subfactor in sloped land with different soil texture. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 40:131-135.
- NAAS. 2011. *Soil and plant analyses*. National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, Korea.
- NIAS. 2017. *Fertilization standard on crops* (3rd edition). National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju, Korea.
- OECD. 1982. *Agricultural and environmental policies, opportunities for integration*. Organization for Economic Cooperation and Development, Paris, France.
- OECD. 2001. *Environmental indicators for agriculture, Vol.3: In soil quality*. p. 197-226. Organization for Economic Cooperation and Development, Paris, France.
- Park, C.W., Y.K. Sonn, B.K. Hyun, K.C. Song, H.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.* 44:977-982.
- Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCOOL, and D.C. Yoder. 1997. *Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)*. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 703, Washington D.C., USA.
- Troeh, F.R., J.A. Hobbs, and R.L. Donahue. 1999. *Soil and water conservation: Productivity and environmental protection*, 3rd edition. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey, USA.
- Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1978. *Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning*. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537.