

Short communication

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2018.51.4.536>

pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

## Growth and Yield Characterization of Soybean (*Glycine max* L.) and Adzuki Bean (*Vigna angularis* L.) Cultivated from Paddy Fields with Different Topographic Features

Hyen Chung Chun\*, Ki Yuol Jung, Young Dae Choi, Sanghun Lee, and Hang Won Kang

Crop Production Technology Research Division, National Institute of Crop Science, RDA, Miryang 50424, Korea

\*Corresponding author: [hyen2010@korea.kr](mailto:hyen2010@korea.kr)

### ABSTRACT

**Received:** October 2, 2018**Revised:** November 29, 2018**Accepted:** November 29, 2018

In Korea, the largest agricultural lands are paddy fields which have poor infiltration and drainage properties. Recently, Korean government pursues cultivating upland crops in paddy fields to reduce overproduced rice in Korea. In order to succeed this policy, it is critical to understand topographic information of paddy fields and its effects on upland crops cultivating in paddy field soils. The objectives of this study were characterizing growth properties of soybean and adzuki bean from paddy fields with three soil topographic features and soil water effects which were induced by topographic features on sesame and perilla. The crops were planted in paddy fields located in Miryang, Gyeongnam with different topographies; mountain foot slope, local valley and alluvial plain. Soil water contents and groundwater levels were measured every hour during growing season. The paddy field of mountain foot slope was significantly effective to alleviate wet injury for soybean and adzuki bean in paddy fields. The paddy field of mountain foot slope decreased average soil water content and groundwater level during cultivation. Stress day index (SDI) from the alluvial plain paddy field had the greatest values from both crops and the smallest from ones of mountain foot slope. This result meant that soybean and adzuki bean had the smallest stress of soil water from the paddy field of mountain foot slope and the greatest from one of alluvial plain. It is important to consider topography of paddy fields to reduction of wet injury and to increase in yields.

**Keywords:** Paddy field, Soybean, Adzuki bean, Soil water content, Stress day index

Physiological responds (SPAD & SDI) of soybean and adzuki bean .from three paddy fields; Mountain foot slopes, local valley, and alluvial plains.

Topography	SPAD		SDI	
	Soybean	Adzuki bean	Soybean	Adzuki bean
Mt. foot slopes	44.80±1.72 <sup>a</sup>	38.69±3.550 <sup>a</sup>	0	0
Local valley	41.79±2.01 <sup>b</sup>	40.79±13.00 <sup>a</sup>	3.5	7.5
Alluvial plains	24.74±3.94 <sup>c</sup>	28.30±4.67 <sup>b</sup>	86	330



## Introduction

최근 한국정부는 23.7%에 그치는 낮은 밭작물 자급률 문제와 쌀 공급과잉 문제를 해소하기 위해서 논에서 밭작물을 재배를 지원하는 정책을 지속적으로 시행하고 있다 (NSO, 2016). 이러한 정책이 성공을 하기 위해서는 밭작물이 논토양에서 재배하여도 수량 감소가 없어야 한다. 이를 위해서는 밭작물의 논 재배시 논토양의 특성과 논 재배 환경요소들에 대한 밭작물의 반응 또는 생육 특성을 이해하는 것이 중요하다

우리나라는 전체 농경지 면적 중 55% 정도는 논이 차지하고 있다. 대부분의 논 토양은 담수하여 벼를 재배하는 특성상 배수가 불량하고 지하수위가 높은 특징을 가지고 있다 (Jung et al., 2011). 이런 배수불량 특성과 모세관 상승 현상이 강하여 작물 근권부에서 쉽게 토양수분이 과다하게 되고 이는 작물에 산소공급이 부족하게 되고 토양환원에 의한 유해물질의 발생 등으로 미생물의 활동이 제한되어 작물에 스트레스를 주게 된다고 알려져 있다 (Hiler, 1971). 토양 내 수분함량은 토성, 배수등급, 경사, 지형 등과 같은 토양의 여러 요인들에 의하여 결정된다. Anderson and Kneale (1980)은 토양요인들 중에서 토양수분 특성에 가장 영향을 주는 요인으로 지형을 연구결과로 보고하였고 Jung et al. (2013)은 밭작물 논 재배시 토양수분 함량과 논 지형에 따라 수량 차이가 확연히 나타난다는 연구결과를 보고하였다.

토양의 과습 상태는 토양 내 산소부족 상태를 만들고 이는 작물의 생육과 수량에 부정적인 영향을 끼치게 된다 (Jo et al., 1996; Ji et al., 2009; Lee et al., 2010). 토양 내 산소 부족 현상은 작물 뿌리 호흡과 양분 흡수를 방해한다. 이러한 상태는 토양 내 독성 물질 발생시키고 작물 생육 저하, 뿌리 썩음 질병 등과 같은 현상들을 촉진시킨다. 이와 같은 요인들은 과습 스트레스에 취약한 밭작물을 논에서 재배하는데 제한요인들로 작용한다. 따라서 밭작물을 논에서 재배시 최대 수량을 내기 위해서 토양수분을 적절한 수준으로 관리하는 것이 중요하다.

Hiler (1969)는 과습 스트레스를 정량화하기 위하여 stress day index (SDI)를 개발하였다. SDI는 작물 민감성 인자 (crop susceptibility, CS)를 바탕으로 하여 스트레스 반응을 정량적으로 표현하는 방법이다 (Hiler and Clark, 1971; Hardjoamidjojo et al., 1982). SDI값은 환경 스트레스들에 대한 작물의 반응 또는 민감성을 작물별로 또는 생육 시기별로 정량화하여 나타내는 값들이다. SDI는 과습 또는 침수상태에서 작물의 반응 정도를 나타내는데 사용되어 왔다 (Evans and Skaggs, 1984; Mukhtar et al., 1990; Purwanto et al., 1993). Jung et al. (2011)은 SDI 개념을 한국 논에서 재배된 콩의 스트레스 반응 정도를 나타내는데 사용하였다. SDI는 과습 환경에서 작물의 스트레스 반응을 정량화하는데 유용한 방법이나 아직 우리나라에서 다양한 토양수분조건에서 팥과 같은 작물에 적용되어 연구가 이루어지지 않았다.

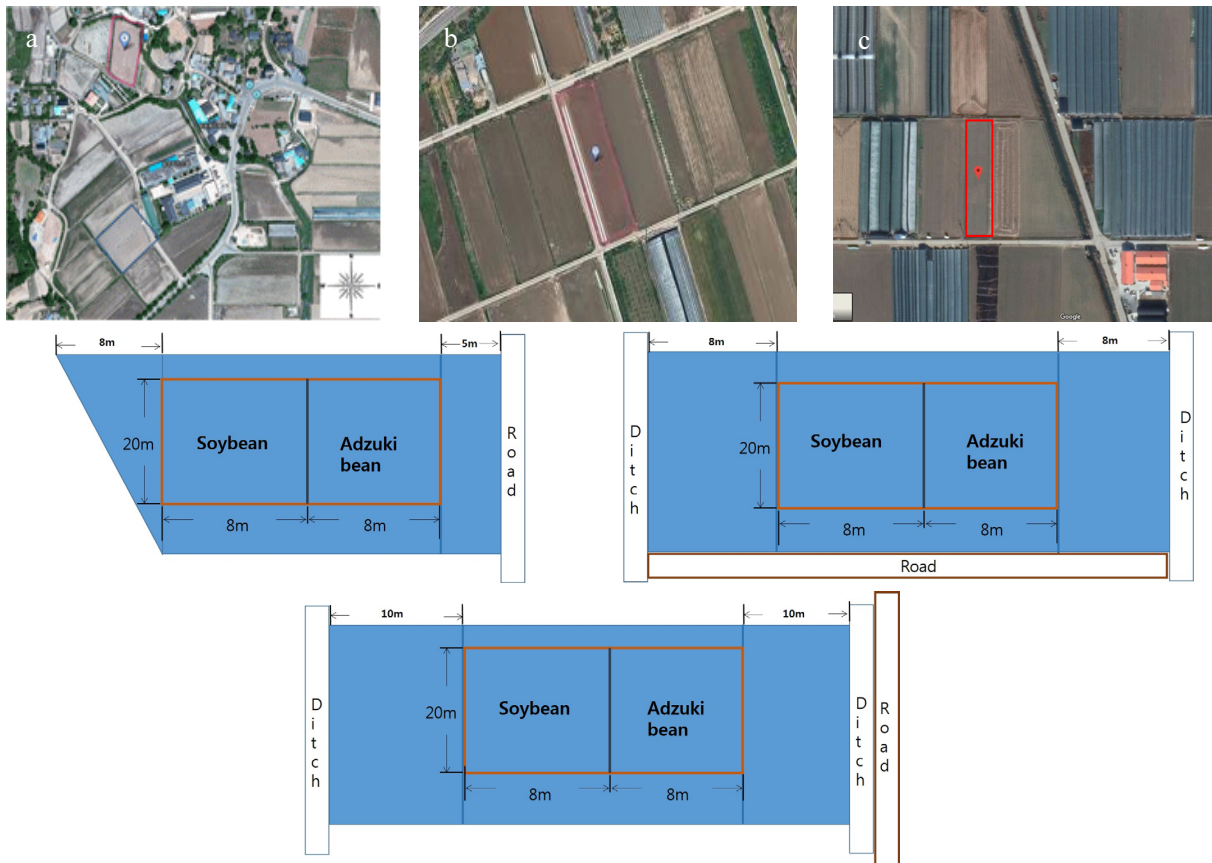
콩과 팥은 우리나라의 대표적인 두과 작물로서 단백질을 공급하는 주요 식량자원으로 널리 사용되고 있다 (Kim et al., 1988). 콩은 단백질을 약 40% 함유하고 있고 지방질은 약 20% 함유하고 있다. 콩은 식물성 기름의 원료로 많이 사용되고 있으며 또한 발표제품 (된장, 청국장 등), 가공제품 (두유 등) 원료로 널리 이용되고 있다. 팥은 다른 두류들과 같이 단백질과 지방질 함량이 낮고 탄수화물이 높은 편이고, 특히 팥에는 비타민 B1과 필수아미노산이 풍부하다. 팥이 함유하고 있는 색소는 천연 항산화 성분이 포함되어 있는 것으로 알려져 있고 두과 작물에서 항산화 성분 추출 및 특성 분석에 대한 연구가 활발히 이루어져왔다 (Moran et al., 1997). Jung et al. (2011)은 배수불량 논에서 콩의 수분 스트레스 반응을 분석하였고 Chun et al. (2017)은 팥의 11 품종을 논 토양에서 재배하여 토양 수분 스트레스에 따른 품종간 수량차이를 분석하였다. 기존 연구 결과들에 따르면 콩과 팥은 토양 수분 함량 차이에 따라 생육과 수량 차이가 확연히 나타났고 수분 스트레스에 민감한 반응을 나타낸 것으로 나타났다. 이와 같은 결과들을 바탕으로 콩과 팥의 생육과 수량은 논 토양에서 재배시 토양 수분함량과 밀접한 관계를 갖고 있으므로 지형에 따른 논 토양의 수분함량 차

이 발생과 이에 따른 콩과 팥의 생육 및 수량 차이를 연구 분석해야 할 필요가 있다.

본 연구는 지형이 다른 논 토양은 콩과 팥의 생육과 수량에 차이를 나타낼 것으로 가설하였다. 연구 목적은 산록경사지, 곡간지, 평야지와 같이 다른 지형을 가진 논에서 재배된 콩과 팥의 생육 및 수량 특성을 분석하고 지형이 다른 논 토양수분차이에 따른 수분 스트레스 반응을 분석하였다.

## Materials and Methods

**Soil and crop** 포장실험은 경남 밀양시에 위치한 논에서 이루어 졌다 (Fig. 1). 세가지 다른 지형의 논이 본 실험에 선택되었다; 산록경사지, 곡간지, 평야지. 각 논토양은 2015년까지 벼를 재배하였고 2016년과 2017년에 콩과 팥이 재배되었다. 실험구간은 모든 논포장에 동일하게 가로, 세로 각 8 m, 20 m로 구성되었다. 각 논포장의 토양은 기본적인 화학성과 물리성을 측정하였다: pH, EC, 유기물, 유효인산 (available P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 양이온 (K, Ca, Mg, Na), 토성, 배수등급, 토양수분함량과 지하수위 등. 각 포장은 작물별로 검정시비 하였고 콩 품종은 우람콩과 팥은 아라리이었다. 콩과 팥은 6월 중순에 파종되어 두 작물 모두 표준재배법에 따라 재배하였다 (RDA, 2015). 재식거리는 콩과 팥 모두 70 × 20 cm, 재식본수 2분으로 파종하였다. 시험 재배 후 통계처리를 위하여 한 구간 안에서 3 반복으로 분석 시료를 채취 하였고 생육, 수량 특성을 분석하였다. 재배기간 동안 3곳에서 Watchdog SM 100 측정기 (Spectrum Technologies,



**Fig. 1.** Satellite images (top) and experiment plot diagram (bottom) from three paddy fields; a. Mountain foot slopes, b. Local valley and c. Alluvial plains.

Plainfield, Illinois, USA)로 토양 수분이 15 cm 깊이에서 한 시간마다 측정되어 데이터로거 (Watchdog 1000 Data Logger, Spectrum Technologies, Plainfield, Illinois, USA)에 저장되었다 (Fig. 2). 지하수위는 자동지하수위 센서 (Remote Data Systems, Inc, NC, USA)를 사용하여 지표 0 cm부터 토양 내 150 cm까지 삽입하여 한 시간마다 기록하였다 (Fig. 2). 수확 전 잎 엽록소는 엽록소 측정장치 (SPAD chlorophyll meter, Minolta Corp. Ramsey, NJ)를 이용하여 채취된 작물 시료들마다 10번씩 측정하였다. 수확 후 기본적 생육과 수량구성요소 (백립중, 수량 등)를 측정하였다.

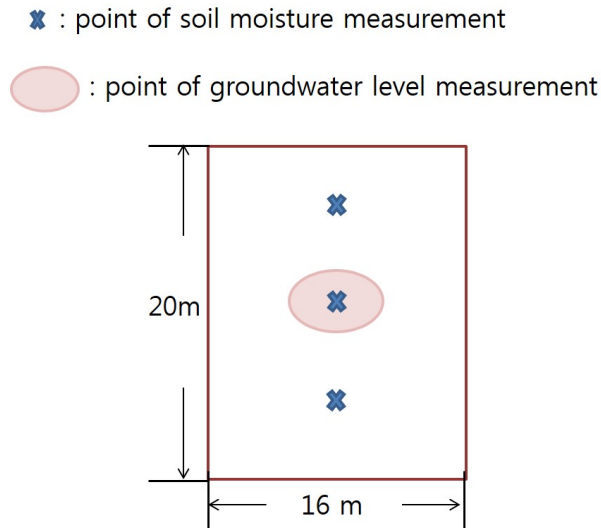


Fig. 2. Locations of soil water and groundwater level measurements from each experiment plot.

**SDI (Stress-Day Index) model** 작물생육기간 중 작물이 받는 수분과잉에 의한 스트레스의 누적일수를 지수화하기 위해 Hiller (1969)가 제안한 수분 스트레스 일수 지표 (Stress Day Index, SDI)를 다음과 같이 계산하였다;

$$SDI = \sum_{i=1}^n SD_i \times CS_i \quad (\text{Eq. 1})$$

여기서, SDI : 수분 스트레스 지표

$SD_i$  : Stress day factor for stage  $i$

$CS_i$  = Crop susceptibility factor for stage  $i$

$n$  : 생육기의 수

$i$  : 생육시기

SD (Stress Day Factor)는 토양 중에 수분과부족, 산소 부족, 투수력, 지하수위 등의 값을 극한치와 연관하여 얻어진 값으로 Hardjoamidjojo et al. (1982)은 과잉 토양수분으로 인하여 생기는 작물의 스트레스 정도를 나타내는 기준 값으로 Sieben (1964)이 제시한 수분스트레스 지표인 지하수위 30 cm를 초과한 일평균 지하수위의 상승빈도 ( $SEW_{30}$ )를 SD 요인으로 대체할 수 있다고 밝혀 식 2와 같이 계산하였다;

$$SEW_{30} = \sum_{i=1}^n (30 - x_i) \quad (\text{Eq. 2})$$

여기서,  $SEW_{30}$ : 지하수위 -30 cm를 초과한 일평균 지하수위의 상승빈도

$x_i$ :  $i$  일의 일 지하수위 깊이 (cm)

$n$ : 생육기간 일수

과잉수분의 초과일수 ( $SED_{30}$ )는 식 3과 같이 지하수위 깊이가 -30 cm 초과한 일평균 지하수위의 누적일수를 이용하여 지하수위 변화를 분석하였다.

$$SED_{30} = (\sum \text{of Excess Water over 30 cm}) \quad (\text{Eq. 3})$$

작물 민감성 요인 (Crop Susceptibility factor, CS)는 작물의 주요 생육기간 동안에 임계 스트레스를 받은 작물의 수량을 조사하여 Hiller (1969)가 제안한 가가 생육시기에 대한 CS 산출식은 다음과 같다.

$$CS_i = \frac{x - x_i}{x} \quad (\text{Eq. 4})$$

여기서,  $x_i$ :  $i$  생육기에 임계 스트레스를 받은 작물의 수량

$x$ : 아무런 스트레스를 받지 않은 경우의 작물의 수량

모든 통계 분석은 SAS program (SAS institute, v.9.2, Cary, NC, USA)을 사용하여 ANOVA (Analysis of Variance)을 95% 유의수준에서 분석하였다.

## Results and Discussion

**Soil and soil water characteristics** 세 논 토양에서 분석된 토양의 물리성과 화학성은 Table 1과 같다. 토양 화학성은 유효 인산을 제외한 대부분의 항목에서 논 토양간 차이가 없었다. 곡간지 논토양의 유효인산이 다른 논토양과 차이가 있었으나 세 논토양의 유효인산은 적정 유효인산 범위 내에 포함되어 있었다 (Kang et al., 2012). 물리성에서 확연한 차이를 보이는 항목은 배수등급과 경사였다. 산록경사지는 약간 양호, 곡간지는 약간불량, 평야지는 불량으로 나뉘어졌고, 경사는 산록경사지 > 곡간지 > 평야지 순으로 나타났다. 이와 같이 지형에 따른 토양 물리성은 토양수분 함량과 지하수위 높이 결과에 영향을 주었다.

토양수분과 지하수위는 콩과 팥 재배기간 동안 1시간마다 측정되었고 평균값들은 Fig. 3과 같다. 토양수분은 산록경사지에서  $10.5 \pm 5.8\%$ 로 가장 낮았고 평야지는  $38.1 \pm 10.2\%$ 로 가장 높았다 ( $p = 0.00$ ). 평균 지하수위 높이는 토양수분함량과 같이 산록경사지에서  $-64.3 \pm 32.2$  cm에서 가장 낮았고 평야지가 가장 높았다 ( $p = 0.00$ ). 토양수분은 통계적으로 세 지형이 각각 다른 값을 나타냈지만 지하수위의 경우 곡간지와 평야지의 지하수위값들이 통계적으로 유



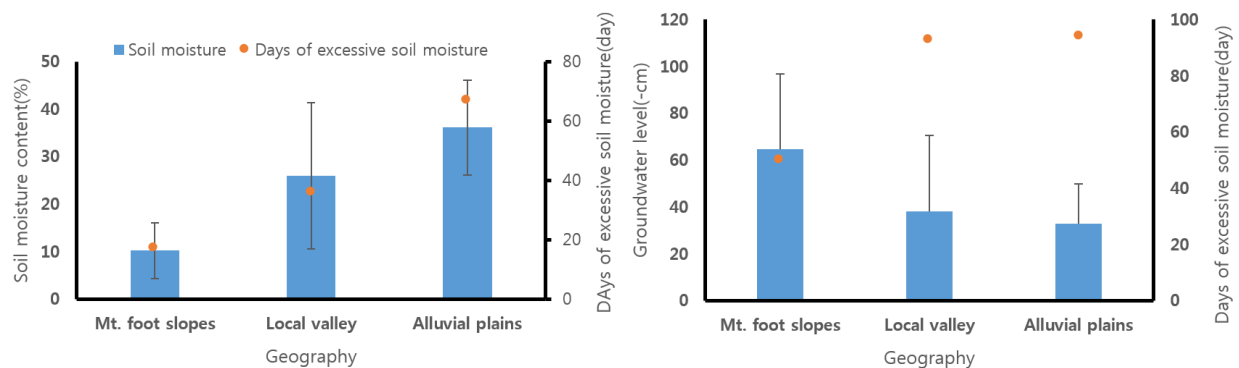
**Table 1.** Soil properties of three experimental sites.

Topography	Drainage class	Slope (%)	Texture	Gravel content (%)	Effective soil depth (cm)	Texture of subsoil			
Mountain foot slopes	Somewhat well	7-15	Sandy loam	0	50-100	Fine Loamy			
Local valley	Somewhat poorly	2-7	Silt Loam	0	>100	Fine Silty			
Alluvial plains	Poorly	0-2	Silt Loam	0	>100	Fine Silty			

Topography	pH (1:5)	EC (ds/m, 1:5)	Organic matter (%)	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	K Ca Mg Na (cmol <sub>c</sub> /kg)			
					Mountain foot slopes	5.1	0.3	2.0
Local valley	5.9	0.5	2.5	179b	0.5	2.9	0.4	0.1
Alluvial plains	5.9	0.8	2.3	413a	0.4	1.5	0.2	0.1

a, b: statistical differences across textures at 95% level



**Fig. 3.** Average and standard deviation values of soil water (top) and groundwater level (bottom) from three paddy fields (mountain foot slopes, local valley and alluvial plains). The points represent days of excessive soil water calculated from soil water content (top) and groundwater level (bottom).

의하지 않았다 ( $p > 0.05$ ). 과습일수는 토양수분과 지하수위 데이터를 바탕으로 식 2를 이용하여 계산되었다. 콩과 팥의 재배기간 동안 토양수분함량이 30%를 초과하는 일들을 합산한 값으로 산록경사지는 17일, 곡간지는 36일, 평야지는 67일이 과습일수였다 (Fig. 3). 지하수위를 바탕으로 계산한 과습일수는 식 2의 SEW<sub>30</sub>을 계산하여 구하였다. 즉 지하수위가 -30 cm보다 높이 올라온 일을 합산한 값이 SEW<sub>30</sub>의 과습일수로 산록경사지는 50일, 곡간지와 평야지는 각각 93, 94일이었다.

**Growth and yield characteristics** 콩과 팥의 생육 특성과 수량 분석결과는 Table 2와 3과 같다. 콩과 팥의 생육과 수량은 지형별 논외의 특성에 따라 차이를 확연히 나타내지는 않았다. 팥은 산록경사지 논에서 수량은 가장 높았다 ( $p = 0.00$ ). 그러나 곡간지와 평야지의 논에서 재배된 팥은 수량 결과에서 통계적으로 차이를 보이지 않았다 ( $p > 0.05$ ). 다른 생육 특성들 또한 지형별 또는 토양 수분에 따른 특정 경향성을 띠고 있지 않았다. 다만 산록경사지나 곡간지가 경장이나 경태와 같은 특성에서 평야지보다 더 좋은 결과를 보였다. 꼬투리 수에서는 평야지 논에서 재배된 팥이 가장 많았으나 백립중과 수량은 가장 낮았다. 이는 평야지에서 재배된 팥의 꼬투리가 콩 종자를 갖지 않는 빈꼬투리 수가 높았던 것으로 판단된다. 콩은 팥보다 더욱 토양 수분이나 지형에 따른 변화가 없었다 ( $p > 0.05$ ). 수량은 산록경사지

**Table 2.** Growth and yield characteristics of soybean from three paddy fields; Mountain foot slopes, local valley, and alluvial plains.

Topography	Mt. foot slopes	Local valley	Alluvial plains
Stem height (cm)	77.9±8.1 <sup>a</sup>	54.8±7.9 <sup>b</sup>	61.6±6.8 <sup>ab</sup>
Stem diameter (mm)	10.0±1.6	7.8±1.1	9.4±1.8
First setting pod node (order)	10.8±3.7 <sup>b</sup>	15.8±3.3 <sup>a</sup>	10.0±2.3 <sup>b</sup>
Pod setting length (mm)	72.7±11.5 <sup>a</sup>	50.0±7.7 <sup>b</sup>	57.8±6.5 <sup>b</sup>
Number of branch (plant <sup>-1</sup> )	4.5±1.7 <sup>ab</sup>	4.1±1.2 <sup>b</sup>	5.0±1.4 <sup>a</sup>
Number of pod ( plant <sup>-1</sup> )	77.8±31.5 <sup>a</sup>	64.4±17.1 <sup>b</sup>	75.3±29.7 <sup>a</sup>
100 grain weight (g)	28.3±0.4 <sup>a</sup>	25.4±0.6 <sup>b</sup>	20.9±1.7 <sup>b</sup>
Yield (g)	355.8±5.9 <sup>a</sup>	309.7±4.6 <sup>ab</sup>	294.4±16.6 <sup>ab</sup>

a, b and c letters represent statistical difference across paddy fields at 95% level.

**Table 3.** Growth and yield characteristics of adzuki bean from three paddy fields; Mountain foot slopes, local valley, and alluvial plains.

Topography	Mt. foot slopes	Local valley	Alluvial plains
Stem height (cm)	75.6±14.6 <sup>a</sup>	37.2±6.2 <sup>c</sup>	44.8±9.1 <sup>b</sup>
Stem diameter (mm)	7.1±1.0 <sup>b</sup>	8.1±1.6 <sup>a</sup>	7.7±0.9 <sup>b</sup>
First setting pod node (order)	6.7±3.4 <sup>a</sup>	5.1±2.1 <sup>b</sup>	2.8±1.2 <sup>c</sup>
Pod setting length (mm)	2.3±0.9	2.3±1.2	2.6±1.2
Number of branch (plant <sup>-1</sup> )	4.4±1.3 <sup>b</sup>	4.8±2.3 <sup>b</sup>	5.2±1.7 <sup>a</sup>
Number of pod ( plant <sup>-1</sup> )	26.0±16.7 <sup>b</sup>	24.4±14.3 <sup>b</sup>	32.3±11.4 <sup>a</sup>
100 grain weight (g)	14.8±1.4 <sup>b</sup>	17.7±1.0 <sup>a</sup>	12.3±0.9 <sup>b</sup>
Yield (g)	144.4±72.3 <sup>a</sup>	80.2±30.7 <sup>b</sup>	51.7±14.9 <sup>b</sup>

a, b and c letters represent statistical difference across paddy fields at 95% level.

에서 약간 높은 것으로 나타났으나 곡간지와 평야지 논에서 재배된 콩 수량보다 확연한 차이를 보이지 않았다. 이러한 경향은 경장, 경태와 같은 생육 특성에서도 나타났다. 이는 콩은 생육과 수량에서 토양 수분의 영향에 따라 차이를 보이지 않은 것으로 판단된다. 2010년부터 7년간 일반 밭에서 지난 재배된 콩 수량은 각각 평균 168.9 ± 18.7 kg/10a이고 팥은 109.4 ± 6.4 kg/10a이었다 (KOSAT, 2017). 국립식량과학원 연구용 밭포장에서 재배된 콩 수량은 312.8 ± 30.0 kg/10a이고 팥은 191.8 ± 20.8 kg/10a이었다 (RDA a, b, 2016). 산록경사지 논에서 재배된 콩과 팥 수량은 일반 밭에서 재배된 콩, 팥 수량보다 작지 않았고, 이는 곡간지나 평야지 논과 같이 과습으로 인한 수량 감소가 없다면 논에서 콩, 팥 재배는 일반 밭 재배와 크게 차이가 없는 것으로 판단된다.

**Water stress index analysis** 토양 수분 차이에 따른 작물의 생리학적 반응을 평가하기 위해 콩과 팥의 잎에서 엽록소 함량을 측정하였다 (SPAD chlorophyll meter). 기존 연구 결과에 따르면 토양 수분 스트레스는 식물 잎 증산작용에 영향을 준다고 결론을 내었다. 이에 따라 식물 잎에서 엽록소 함량 측정은 토양 수분 스트레스 반응과 관련이 있다고 밝혔다 (Richardson et al., 2002; Songsri et al., 2009). 엽록소 함량 측정과 함께 SDI도 작물 또는 식물의 수분 스트레스 반응을 정량화 하는 좋은 지표이다 (Evans et al., 1990; Kandil et al., 1995). SDI 지표는 Eq. (1)-(3) 방법으로

**Table 4.** Summary of SPAD chlorophyll meter and SDI results of soybean and adzuki bean from three paddy fields; Mountain foot slopes, local valley, and alluvial plains.

Topography	SPAD		SDI	
	Soybean	Adzuki bean	Soybean	Adzuki bean
Mt. foot slopes	44.8±1.7 <sup>a</sup>	38.69±3.5 <sup>a</sup>	0	0
Local valley	41.8±2.0 <sup>b</sup>	40.79±13.0 <sup>a</sup>	3.5	7.5
Alluvial plains	24.7±3.4 <sup>c</sup>	28.30±4.7 <sup>b</sup>	86	330

a and b letters represent statistical difference across paddy fields at 95% level.

계산되었다. SPAD와 SDI 결과는 Table 4와 같다. 콩과 팥 모두 산록경사지의 논에서 가장 높은 SPAD 값을 보였다. 콩은 산록경사지에서 곡간지, 평야지 순으로 통계적 차이를 보이며 SPAD 값이 감소하였다 ( $p = 0.00$ ). 반면 팥은 산록경사지와 곡간지가 통계적으로 유의하지 않았으나 평야지는 확연한 감소값을 보였다. 이와 같은 경향은 SDI에서도 비슷하게 나타났다. 두 작물 모두 산록경사지에서 SDI 값이 0으로 작물 재배기간 동안 토양수분 스트레스를 전혀 받지 않았다는 것을 뜻한다. 반면 평야지 논인 경우 다른 지형의 논보다 가장 높은 SDI값을 보였고 이는 평야지 논에서 재배된 콩과 팥은 가장 높은 과습 스트레스를 받았다는 결과이다. 콩과 팥을 비교하면, 팥의 콩보다 곡간지와 평야지에서 더 높은 SDI값을 보였다.

## Discussion

세 지형별 논에서 재배된 콩과 팥은 공통적으로 산록경사지에서 가장 높은 수량을 보였다. 다만 콩의 경우 산록경사지와 다른 지형의 논에서 재배된 콩 수량과 크게 차이를 보이지 않았다. 반면 팥은 산록경사지에서 재배된 팥은 다른 지형의 논에서 재배된 팥 수량과 비교하여 확연한 차이를 보였다 ( $p = 0.00$ ). 이와 같은 차이는 지형으로 인한 토양수분 변화 또는 지형 차이에서 발생한 과습으로 인한 스트레스 차이와 연관이 있는 것으로 보인다. Li et al. (2015)는 농작물 생산성은 지형적 특성들과 매우 밀접하게 연관을 갖고 있다고 연구결과를 발표하였고 Chun et al. (2017)은 참깨의 논 재배시 여러 토양 특성들 중 지형과 토양수분이 참깨 수량에 가장 큰 영향을 주는 요인이라고 밝혔다. 또한 지형은 토양 깊이별로 수분함량의 차이를 보이게 하고 낮은 지형의 토양은 이러한 지형적 특성으로 인하여 토양 표면의 과습상태를 보인다는 연구결과가 있다 (Qiu et al., 2001; Agren et al., 2014). 이와 같은 연구결과들을 바탕으로 본 연구에서 콩과 팥의 수량차이는 논 지형적 또는 토양수분 특성 차이에 의하여 발생한 것이라고 결론지을 수 있다. 더불어 평야지와 같은 낮은 지형은 다른 지형들보다 토양수분함량이 높고 이는 작물에 과습 스트레스 발생을 높였다.

본 연구에서 콩과 팥 재배기간 동안 평야지의 논은 다른 지형의 논들보다 높은 토양수분함량과 지하수위를 보였다. 평야지의 논에서 재배된 콩과 팥은 산록경사지 논에서 재배된 콩과 팥 수량과 비교하여 상대적으로 더 적은 수량을 보였다. 이와 같은 결과는 콩과 팥이 높은 과습 상태가 유지된 평야지에서 생육과 수량 감소가 나타났다는 것으로 판단된다. 이는 SPAD와 SDI 값들에서도 비슷한 경향으로 나타났다. Schlemmer et al. (2005)은 SPAD 측정값들이 수분 스트레스 상태에서 감소를 하고 적정한 수분상태에서는 증가하는 경향을 밝혔다. SDI 값들 또한 작물의 토양수분 스트레스 반응을 정량화하는 지표로 사용되었다 (Hiler and Clark, 1971; Ahmad and Kanwar, 1989). Evans et al. (1991) 과 Purwanto et al. (1993)은 옥수수과 콩을 과습상태에서 수량 감소를 예측하기 위하여 SDI를 활용하였다. 이들은 SDI가 수량 감소 예측을  $r^2 = 60.0-80.0\%$ 로 맞추었고 이는 SDI 값이 작물의 스트레스 반응 상태나 수량 감소



예측에 좋은 지표라는 것을 뜻한다. Kanwar (1988)은 다양한 토양 수분 조건에서 SDI값들을 측정한 결과 과습상태가 높을수록 SDI값이 더 증가한다는 것을 밝혔고 Chun et al. (2016)은 여러 작물을 동일한 과습 조건에서 SDI값을 측정한 결과 작물마다 과습에 대한 반응 정도가 다르고 이는 SDI값 차이로 나타난다고 밝혔다. 본 연구에서 SPAD와 SDI값들은 과습이 없었던 산록경사지에서 가장 높은 SPAD값과 가장 낮은 SDI값들 보였고 반면 과습상태가 가장 많았던 평야지는 반대 경향을 보였다. 콩과 팥 두 작물 모두 평야지에서 과습상태에 노출이 다른 지형들 보다 많았지만 SPAD와 SDI값 변화는 차이를 보였다. Jung et al. (2013)은 논외 배수상태 차이에 따른 밭작물들의 과습스트레스 반응을 SDI로 분석한 결과 조 > 기장 > 팥 > 수수, 콩 순으로 과습 반응을 보였다. Chun et al. (2016)은 같은 과습 조건에서 다른 작물들의 스트레스 반응을 SDI로 계산한 결과 조 > 기장 > 팥 > 참깨 > 수수 순으로 나타났다. 두 연구결과 모두 조와 기장 그리고 팥 순으로 과습 상태에서 높은 스트레스 반응을 보인 것으로 나타났다. 이 연구들에서 팥의 SDI값은 90-1388.56까지 범위의 값을 나타냈다. 콩은 논 배수처리에 따른 스트레스 반응으로 생육과 수량에서 차이를 보이고 이와 동시에 SDI값도 변화가 있었다. Jung et al. (2013) 연구에서 콩이 과습한 논과 배수가 잘되는 논에서 SDI값은 69.5-10.1의 범위를 보였다. 이는 86.0-0.0의 SDI를 보인 본 연구 결과에서 크게 벗어나지 않는 범위이다. 이와 같은 결과들을 바탕으로 팥은 과습한 논에서 재배시 콩보다 더 높은 SDI값을 나타내는 것으로 판단된다. 또한 콩은 산록경사지와 다른 지형의 논에서 SDI값이나 수량 차이가 크지 않았으나 팥은 산록경사지 외 곡간지와 평야지는 확연한 감소를 보였고 곡간지와 평야지 두 지형의 논에서는 차이를 보이지 않았다. 즉 곡간지와 같은 지형의 논에서 발생하는 과습 정도에서도 팥은 생육과 수량에 영향을 받기 시작한 것으로 나타났다. 또한 같은 과습상태에서 팥은 생육과 수량 감소가 콩과 비교하여 더 큰 것으로 판단된다. 따라서 과습 스트레스를 피하고 싶거나 특히 팥과 같이 과습에 영향을 많이 받는 작물은 논 지형이 산록경사지와 같은 곳을 선택해야 일반 밭에서 재배되는 작물 생육과 수량에 감소가 발생하지 않을 것이다. 반면 콩은 논에서 재배시 지형의 영향 또는 토양 수분의 영향을 크게 고려하지 않아도 되는 것으로 나타났다.

## Conclusions

콩은 논외 지형과 토양 수분 차이에 대하여 생육과 수량이 크게 차이가 나타나지 않았다. 반면 팥은 지형에 따른 차이가 확연하게 나타났고 과습조건에서 수량감소가 컸다. 두 작물 모두 논외 경우 산록경사지와 같은 지형에서 생육과 수량이 가장 좋았고 곡간지와 평야지는 비슷한 감소를 보였다. 다만 곡간지와 평야지에서 콩 수량 감소가 산록경사지와 비교하여 크지 않았으나 팥은 수량 감소가 컸다. 팥과 같이 과습의 영향을 많이 받는 작물은 논에서 재배시 토양수분에 영향을 주는 지형을 고려해야만 과습피해를 줄일 수 있다. 또한 평야지와 같은 논에서 팥과 같은 작물을 재배시 과습피해를 줄이기 위해 배수처리를 해줘야 한다. 본 연구결과는 앞으로 논 타작물 재배 지원사업과 같은 정책 실행시 농민의 과습피해를 최소화 하는데 도움을 줄 것으로 예상된다.

## Acknowledgement

This research was performed and funded by an Agenda project of Rural Development Administration (project number: PJ 01228602).

## References

- Agren, A.M., W. Lidberg, M. Stromgren, J. Ogilie, and P.A. Arp. 2014. Evaluating digital terrain indices for soil wetness mapping—a Swedish case study. *Hydrol. Earth Sys. Sci.* 18:3623-3634.
- Anderson, M.G. and P.E. Kneale. 1980. Topography and hillslope soil water relationships in a catchment of low relief. *J. Hydrol.* 47:1-2.
- Chun, H.C., K.Y. Jung, Y.D. Choi, and S.H. Lee. 2017. Improved method of suitability classification for sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivation in paddy field soils. *Korea J. Soil Sci. Fertil.* 50(6):520-529 (in Korean).
- Chun, H.C., K.Y. Jung, Y.D. Choi, S.H. Lee, and H.W. Kang. 2016. The growth and yield changes of foxtail millet (*Setaria italic* L.), proso millet (*Panicum miliaceum* L.), sorghum (*Sorghum bicolor* L.), adzuki bean (*Vigna angularis* L.), and sesame (*Sesamum indicum* L.) as affected by excessive soil-water. *Korean J. Agri. Sci.* 43(4): 547-559.
- Evans, R.O. and R.W. Skaggs. 1984. Crop susceptibility factors for corn and soybeans to controlled flooding. ASAE Paper No. 84-2567, ASAE, St. Joseph, MI 49085.
- Evans, R.O., R.W. Skaggs, and R.E. Sneed. 1990. Normalized crop susceptibility factors for corn and soybean to excess water stress. *Trans. ASAE* 33(4):1153-1161.
- Evans, R.O., R.W. Skaggs, and R.E. Sneed. 1991. Stress day index models to predict corn and soybean relative yield under high water table conditions. *Trans. ASAE* 34(5):1997-2005.
- Hardjoamidjojo, S., R.W. Skaggs, and G.O. Schwab. 1982. Corn yield response to excessive soil water conditions. *Trans. ASAE* 25:922-927, 934.
- Hiler, E.A. 1969. Quantative Evaluation of Crop-Drainage Requirments. *Trans. ASAE* 12(4):499-505.
- Hiler, E.A. and R.N. Clark. 1971. Stress Day Index to Characterize Effects of Water Stress on Crop Yields. *Trans. ASAE* 14(4):757-761.
- Ji, C.H., W.H. Kim, K.Y. Kim, S.H. Lee, S.H. Yoon, and Y.C. Lim. 2009. Effect of Different Drained Conditions on Growth, Forage Production and Quality of Silage Corn at Paddy Field. *J. Korean Soc. Grass. Forage Sci.* 29(4): 329-336 (in Korean).
- Jo, J.S., C.S. Kim, and J.Y. Won. 1996. Crop Rotation of the Korean Ginseng (*Panax Ginseng* C. A. Meyer) and the Rice in Paddy Field. *Korean J. Medi. Crop Sci.* 4:19-26 (in Korean).
- Jung, K.Y., E.S. Yun, C.Y. Park, J.B. Hwang, Y.D. Choi, and K.D. Park. 2011. Stress Day Index to Predict Soybean Yield Response by Subsurface Drainage in Poorly Drained Sloping Paddy Fields. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(5): 702-708 (in Korean).
- Jung, K.Y., E.S. Yun, C.Y. Park, J.B. Hwang, Y.D. Choi, and K.D. Park. 2013. Study on pattern and cause of the wet injury of upland crops by cultivation condition on paddy soils. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 46(5):127-128 (in Korean).
- Kandil, H.M., R.W. Skaggs, S.A. Dayem, and Y. Aiad. 1995. DRAINMOD-S: Water management model for irrigated arid lands, crop yield and applications. *Irri. Drain. Sys.* 9(3):239-258.
- Kang, S.S., Y.S. Noh, S.C. Choi, Y.S. Kim, H.J. Kim, M.T. Choi, B.K. Ann, H.W. Kim, H.G. Kim, J.H. Park, Y.H. Lee, S.H. Yang, J.S. Ryu, Y.S. Zhang, M..S Kim, Y.G. Sonn, C.H. Lee, S.G. Ha, D.B. Lee, and Y.H. Kim. 2012. Status and changes in chemical properties of paddy soil in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(6):968-972 (in Korean).
- Kanwar, R.S., J.L. Baker, and S. Mukhtar. 1988. Excessive soil water effects at various stages of development on the growth and yield of corn. *Trans. ASAE* 31(1):133-141.
- Kim, J.G., S.K. Kim, and J.S. Lee. 1988. Fatty acid composition and electrophoretic patterns of protein of Korean soybeans. *Korean J. Food Sci. Technol.* 20(2):263-271.

- KOSAT. 2017. Statistics of agricultural production in 2017, Statistics Korea (in Korean).
- Lee, H.L., K.H. Park, M.H. Lee, H.T. Kim, W.D. Seo, J.Y. Kim, I.Y. Baek, D.S. Jang, and T.J. Ha. 2013. Identification, characterization, and quantification of phenolic compounds in the antioxidant activity-containing fraction from the seeds of Korean perilla (*perilla frutescens*) cultivars. *Food Chemistry* 136:843-852 (in Korean).
- Lee, J.E., H.S. Kim, Y.U. Kwon, G.H. Jung, C.K. Lee, H.T. Yun, and C.K. Kim. 2010. Responses of Root Growth Characters to Waterlogging in Soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]. *Korean J. Crop Sci.* 55(1):1-7 (in Korean).
- Li, Y., X. Yang, H. Cai, L. Xiao, X. Xu, and L. Liu. 2015. Topographical characteristics of agricultural potential productivity during cropland transformation in China. *Sustainability.* 7:96-110.
- Moran, J.F., R. Klucas, R. Grayer, J. Abian, and M. Becana. 1997. Complexes of iron with phenolic compounds from soybean nodules and other legume tissues. *Free Rad. Biol. Medi.* 22(5):861-870.
- Mukhtar, S., J.L. Baker, and R.S. Kanwar. 1990. Corn growth as affected by excess soil water. *American Soc. Agri. Eng.* 33:437-442.
- National Statistical Office (NSO), 2016. Regional Statistics Yearbook, Seoul, Korea (in Korean).
- Purwanto, M.Y., S. Hardjoamdjojo, R. Nakamura, and N. Kubo. 1993. Crop yield prediction by stress day indices under both excessive and deficient soil water conditions. *Irrig. Engin. Rural Plan.* 25:31-41.
- Qiu, Y., B. Fu, J. Wang, and L. Chen. 2001. Soil moisture variation in relation to topography and land use in a hillslope catchment of the Loess Plateau, China. *J. Hydrol.* 240:243-263.
- Richardson, A.D., S.P. Duigan, and G.P. Berlyn. 2002. An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content. *New Phytol* 153:185-194.
- Rural Development Administration a. 2016. Good practice of agricultural technology 202; soybean. Korea (in Korean).
- Rural Development Administration. 2015. Good practice of agricultural technology; oilseed crops. Korea (in Korean).
- Schlemmer, M.R., D.D. Francis, J.F. Shanahan, and S. Schepers. 2005. Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. *Agr. J.* 197:106-112.
- Sieben, W.H. 1964. Relation of drainage conditions and crop yields on young clay soils in the Yssellake polders. *VanZee tot Land* 40.
- Songsri, P., S. Jogloy, C.C. Holbrook, T. Kesmala, N. Vorasoot, C. Akkasaeng, and A. Patanothai. 2009. Association of root, specific leaf area and SPAD chlorophyll meter reading to water use efficiency of peanut under different available soil water. *Agri Water Manage.* 96:790-798.