Korean Journal of Environmental Agriculture

Korean J Environ Agric. 2017;36(3):147-153. Korean
Published online 2017 September 30. https://doi.org/10.5338/KJEA.2017.36.3.30

Online ISSN: 2233-4173
Print ISSN: 1225-3537

Research Article

Open Access

중량식 라이시미터에서 콩 재배시 물관리 방법에 의한 양분의 용탈과 작물 흡수

이예진*, 한경화, 이슬비, 성좌경, 송요성, 이덕배

농촌진흥청 국립농업과학원 농업환경부 토양비료과

Nutrient Leaching and Crop Uptake in Weighing Lysimeter Planted with Soybean as Affected by Water Management

Ye-Jin Lee*, Kyung-Hwa Han, Seul-Bi Lee, Jwa-Kyung Sung, Yo-Sung Song and Deog-Bae Lee (Soil & Fertilizer Management Division, Department of Agricultural Environment, National Institute of Agricultural Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea)

Received: 11 September 2017/ Revised: 20 September 2017/ Accepted: 25 September 2017

ORCID
Ye-Jin Lee
http://orcid.org/0000-0003-4415-846X
Kyung-Hwa Han
http://orcid.org/0000-0003-2840-0893
Seul-Bi Lee
http://orcid.org/0000-0001-5216-6908

Abstract

BACKGROUND: Soil water content strongly depends on weather condition and irrigation, and it could influence on crop nutrient use efficiency. This study was performed to assess nutrient uptake of soybean by soil water condition.
METHODS AND RESULTS: In this study, nutrient leaching and crop uptake as affacted by water management practice was investigated using weighing lysimeter which is located in National institute of agricultural science, Wanju, Jeonbuk province from June 2015 to October 2016. Water supply for soybean (cv. Daewon) was managed with irrigation and rainfall. Nitrate leaching was greatest in the rainfall treatment at early July 2016. Yield of soybean in the rainfall treatment was only 25% compared to the irrigation due to the drought at flowering and podding period. The uptake of nitrogen was considerably reduced by drought whereas the uptake of phosphorus and potassium was less affected by drought.
CONCLUSION: It was proven that nitrogen loss and uptake were dependent on soil water condition. Therefore, irrigation water management to maintain available soil moisture capacity is critical to nitrogen uptake and yield of soybean.

Key words: Irrigation, Nitrogen uptake, Soybean, Weighing lysimeter

*Corresponding author: Ye-Jin Lee
Phone: +82-63-238-2446; Fax: +82-63-238-3822;
E-mail: leeyj418@korea.kr

서 론

작물의 양분 이용률은 토양, 기상 등 환경 요인과 관개여부, 투입 양분의 종류 등 관리방법에 영향을 받는다(Baligar *et al.*, 2001). 토양 수분은 기상 조건에 따라 달라지며, 토양 수분 상태는 작물의 양분흡수와 직결된다. 유효수분 범위에서는 뿌리가 양·수분을 흡수하기 용이하나 토양수분이 감소하게 되면 토양 중 이온의 확산속도가 감소하여 뿌리의 양분 흡수가 어렵게 된다(Pinkerton and Simpson, 1986).

콩(*Glycine max* L.)은 여름에 재배하는 다른 작물들보다 물 요구량이 많고, 콩 수량을 높이기 위해서는 많은 물이 필요하다고 보고된 바 있다(Ashley, 1983). 우리나라는 콩을 재배하는 6월부터 10월 중 장마와 가뭄 등 기상 변화로 토양 수분의 변동이 심하며, 자연강우에 의존하는 재배여건에서는 토양 수분이 작물 생산량에 결정적인 역할을 할 수 있다

Table 1. Soil physico-chemical properties before experiment

Soil series	Horizon	Soil depth (cm)	Bulk density (Mg m^{-3})	Soil texture	pH (1:5)	EC (dS m^{-1})	OM (g kg^{-1})	Av.P_2O_5 (mg kg^{-1})	Exch. cations ($cmol_c$ kg^{-1})		
									K	Ca	Mg
Songjeong	Ap	0~12	1.18	Silty Clay Loam	5.2	0.6	22.5	463	0.17	1.3	2.0
	BAt	12~36	1.26	Silty Clay Loam	5.4	ND	2.6	ND	0.09	0.1	1.4
	Bt	36~61	1.34	Silty Clay Loam	5.8	ND	2.0	ND	0.09	0.1	1.9
	Bw	61~98	1.32	Silt Loam	5.9	ND	1.5	ND	0.09	0.3	2.5
	C	98~150	1.43	Silt Loam	5.9	ND	1.8	ND	0.13	0.6	3.0

Table 2. Chemical properties of top soil in 2016

pH (1:5)	EC (dS m^{-1})	OM (g kg^{-1})	T-N (g kg^{-1})	Av.P_2O_5 (mg kg^{-1})	Exch. cations ($cmol_c$ kg^{-1})		
					K	Ca	Mg
7.0	0.5	38	1.6	288	0.45	7.8	5.0

(Holzman *et al.*, 2014). 콩의 꼬투리 형성기부터 종자 등숙기까지의 증발산량은 총 증발산량의 65%가 해당되는 만큼 물 소모량이 많으며, 이 시기의 수분 공급은 콩 수량에 영향을 미친다(Karam *et al.*, 2005). 자연 강우조건에서는 토양의 수분 상태가 작물의 수분 흡수를 결정하기 때문에 토양 유효수분 이하로 떨어지면 토양 수분이 작물의 생육 제한인자로 작용할 수 있다. 콩은 질소 고정을 통해 대부분의 질소를 공급받기 때문에 양분 필요량이 많지 않지만 수분이 부족한 경우 질소 고정을 비롯하여 전반적인 양분 흡수가 어려워져 정상적으로 콩 수확을 할 수 없다.

본 연구에서는 작물의 증발산량과 지하 침투수량을 직접 측정할 수 있고, 양분의 이동을 물 수지를 통하여 정량화 할 수 있는 중량식 라이시미터를 활용하여 콩 재배기간 중 기상조건에 따른 수분 이동과 용탈을 분석하였다. 콩 재배기간 중 적습 관개를 통해 적정 수분함량을 유지했을 때와 자연강우에만 의존했을 때 증발산량, 지하배수 등 물 수지와 토양 층위별 수분함량 변화, 강우에 따른 양분 용탈을 분석하고, 물 관리 여부에 따른 토양 수분 상태가 콩의 양분 흡수에 영향을 미치는지 확인하였다.

재료 및 방법

중량식 라이시미터 및 토양 특성

본 연구에서는 전북 완주군 이서면 국립농업과학원 구내 시험포장에 위치한 비교란 중량식 라이시미터 시설을 이용하였다. 라이시미터는 지름 1 m, 깊이 1.5 m인 스테인레스강 재질의 원통형이며, 10, 30, 55, 85, 125 cm 깊이에서 토양온도, 수분측정(UMP-1, UGT, Germany) 및 토양용액 채취(Suction probe system, UGT, Germany)가 가능한 장비(Weighing lysimeter, UGT, Germany)이다. 장비의 세부사항은 Seo 등(2016)의 라이시미터와 동일하다. 라이시미터의 토양은 2013년 10월에 완주에서 송정통을 비교란 상태로 채취하였다. 토성은 미사질 식양토이고, 토심은 50~100 cm 범위에 속하는 산성 토양이며, 이화학적 특성은 Table 1과 같다.

처리내용

라이시미터는 약 1년 7개월의 안정화 과정을 거친 후 본 시험은 2015년 6월부터 시작하였다. 대상작물은 콩이고, 품종은 대원콩으로 재식밀도는 30×30 cm이며, 2015년에는 6월 8일 정식하여 10월 30일 수확하였고, 2016년에는 6월 10일 정식하여 10월 24일 수확하였다. 2015년 콩 수확 후부터 2016년 콩 재배 전까지는 작물을 재배하지 않았다. 2015년에는 콩 재배 전 석회고토 300 kg $10a^{-1}$, 볏짚퇴비 1000 kg $10a^{-1}$와 밑거름으로 N-P-K=3.40-1.31-7.73 kg $10a^{-1}$을 사용하였으며, 2016년에는 Table 2의 토양 화학성을 기준으로 토양검정에 의한 비료추천에 따라 N-P-K=0.0-0.74-3.16 kg $10a^{-1}$을 전량 밑거름으로 시용하였다(NIAST, 2006). 물 관리는 적습관개하는 라이시미터(a)와 자연강우에 의존하는 무관개 라이시미터(b)로 구분하여 처리하였다. 본 시험에 활용한 라이시미터는 비교란 토양으로서 같은 토양이라도 암석이나 경반층 등 토양 물리성에 의한 수분 이동 차이가 있으며, 반복구를 설치하는데 시간 및 비용 소모가 많기 때문에 반복구 없이 연차 간 차이를 분석하였다.

재배기간 중 기상 조건

기상 데이터는 국립농업과학원 중량식 라이시미터 포장에 설치된 자동기상관측시스템으로 측정하였다. 2015년 재배기간 중 월 평균 온도의 범위는 15.2℃에서 25.8℃이었고, 2016년은 15.9에서 27.5℃이었다. 2015년 콩 재배시기의 총 강우량은 400 mm로 해당 시기의 평년 강우량 50% 수준에 머물렀으며, 2016년에는 630 mm으로 7월 초와 9월 중순부터 10월 중순까지는 강우 빈도가 높았으나 개화기인 8월에는 누적 강우가 약 27mm 정도로 강우가 거의 없었다(Fig. 1).

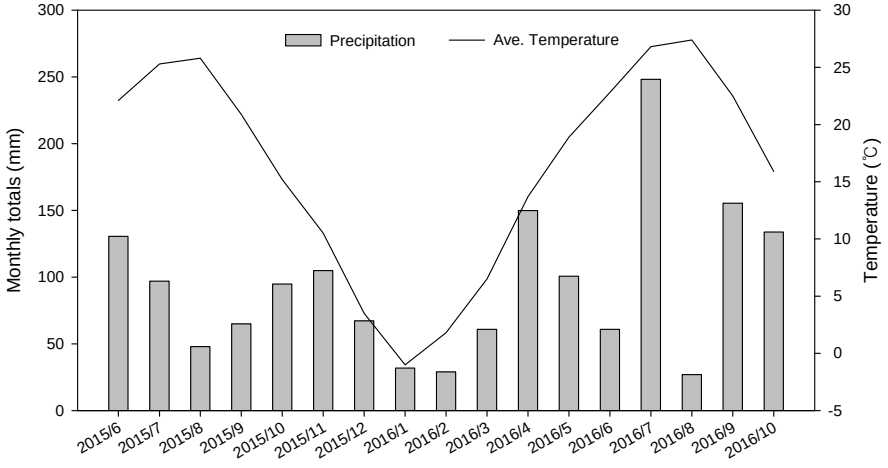
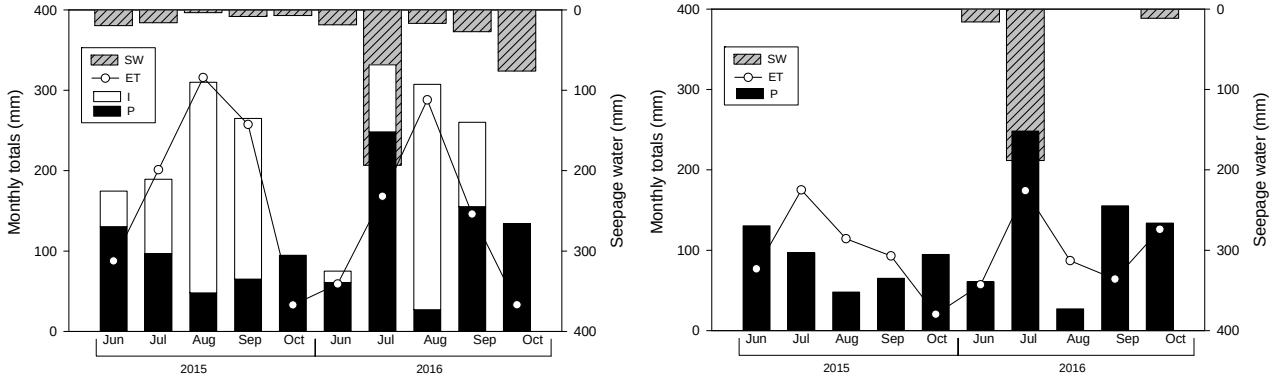


Fig. 1. Monthly precipitation and average temperature during soybean cultivation from June 2015 to October 2016.



a) Irrigated **b) Non-irrigated**

Fig. 2. Precipitation (P), Irrigation (I), evapotranspiration (ET) and seepage water (SW) by water managements during soybean cultivation using weighing lysimeter.

작물 증발산량 산정

작물 증발산량은 다음 식으로 산정하였다(Klammler and Fank, 2014).

증발산량(ET)=총 강우량+관개량-지하배수량-유거수량

물 투입량인 총 강우량과 관개량에서 물 유출량인 지하배수량과 유거수량을 뺀 값이 증발산량이며, 재배기간 중 유거는 일어나지 않았다.

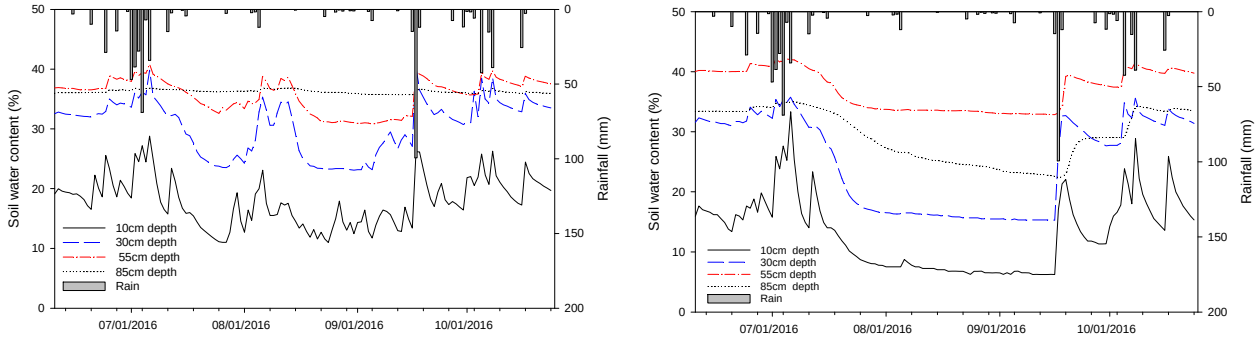
토양 이화학성, 식물체 흡수량 및 침투수 분석

라이시미터 토양의 층위별 분류는 USDA의 Soil taxonomy를 적용하였다(Soil survey staff, 1999). 토성 분석을 위한 입자 분포는 비중계법(Gee and Bouder, 1986)을 이용하였고, 층위별 용적밀도는 코어법으로 분석하였다 (Blake and Hartge, 1986). 토양 pH와 EC는 토양과 증류수를 1:5의 비율로 측정하였고, 유기물은 Tyurin 법, 유효인산은 Lancaster 법, 치환성 양이온은 1 M NH_4OAC (pH 7.0)으로 추출하여 유도결합플라즈마 분광광도계(ICP-OES, GBC, Integra XL Dual, Australia)로 분석하였다(NIAST, 2000). 식물체는 건조 후 분쇄하여 시료 0.5 g에 진한 황산(H_2SO_4) 1 mL와 50% 과염소산 ($HClO_4$) 10 mL를 가한 뒤 열판에 가열하여 분해하였으며, 질소, 인산, 칼륨 함량은 Lee 등 (2017)의 방법에 따라 분석하였다. 침투수 수질은 수질오염공정시험기준(MOE, 2017)에 준하여 분석하였다. 암모늄태, 질산태질소는 이온 자동분석기(QuAAtro, Seal analytical, USA)로 측정하였고, 인산염인은 이염화주석환원법으로 분석하여 비색 정량하였다. 칼륨은 유도결합플라즈마 분광광도계로 측정하였다.

결과 및 고찰

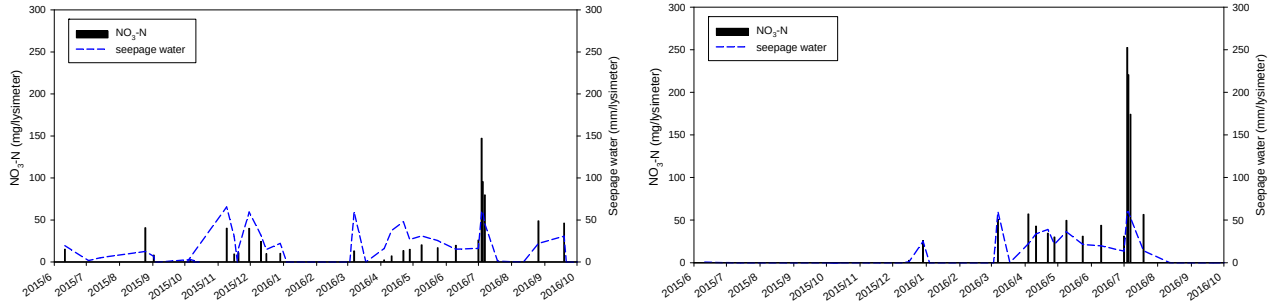
강우 및 관개여부에 따른 수분 이동과 양분 유출

2015년과 2016년 콩 재배기간 중 적습관개구의 증발산량과 관개수, 강우에 의한 물 투입량, 지하배수량을 Fig. 2에 제시하였다. 적습관개구와 무관개구 모두 2015년 7월부터 9월까지 증발산량보다 강우량이 현저히 적어 지하 배수가 거의 일어나지 않았으며, 2016년에는 7월초에 5일간 강우가 지속



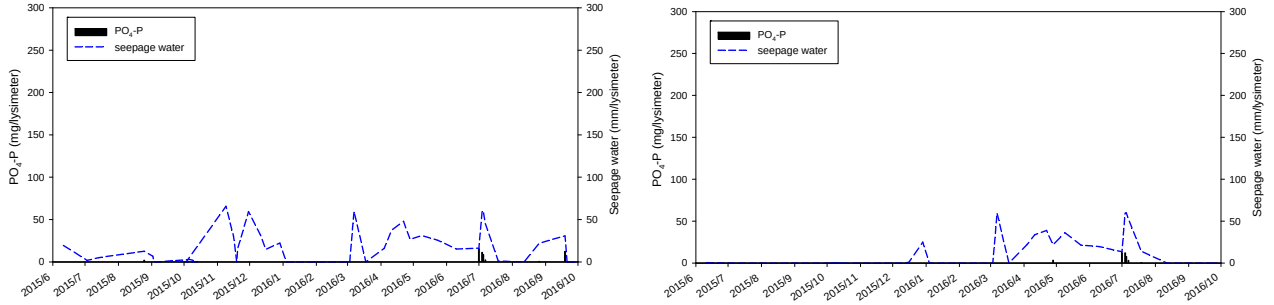
a) Irrigated b) Non-irrigated

Fig. 3. Variation of soil water content by water managements during soybean cultivation in 2016.



(a) (b)

Fig. 4. NO_3-N leaching in a) irrigated and b) non-irrigated weighing lysimeter from June 2015 to October 2016.



(a) (b)

Fig. 5. PO_4-P leaching in a) irrigated and b) non-irrigated weighing lysimeter from June 2015 to October 2016.

되어 약 200 mm의 지하배수가 일어났다. 콩 생육단계별 증발산량은 개화기 이후 급격히 증가하는데(Yang *et al.*, 2000), 본 연구에서도 적습관개구에서 2015년, 2016년 모두 작물 생육단계에 따라 증발산량이 점차 증가하다가 생육최성기인 8월에 가장 많았고, 수확기인 10월에 감소하였다. 무관개구는 개화기 및 착협기인 7월 중순부터 8월 말까지 지온상승과 더불어 강우 빈도의 감소에 의한 수분 부족으로 증발산량이 감소하였고, 작물은 위조 증상이 나타났다. 2016년에는 9월 중순 강우로 인한 수분 공급으로 10월에 증발산량이 증가하였고, 무관개구의 생육은 다소 회복되었다. 적정 수분공급으로 작물의 물 요구량을 충족한 적습관개구는 강우 조건과 관계없이 연차 간 증발산량이 유사하게 나타났으나, 무관개구는 강우 조건이 증발산량과 작물 생육 양상에 영향을 미쳤다.

관개구의 층위별 수분함량은 지속적인 관개로 강우에 따라 토양 수분함량이 변동하는 반면, 무관개구는 7월 6일 이후 거의 강우가 없어 7월 23일부터 9월 중순까지 근권 부위인 10~30 cm 깊이의 수분함량이 7월 초의 50% 이하로 유지되는 것으로 나타났다(Fig. 3). 이 시기에 10 cm 깊이의 수분함량은 10% 미만, 30 cm 깊이는 20% 미만이었으며, 근권에서의 수분흡수가 불가함에 따라 콩은 한발에 의해 잎이 마르기 시작하였다. 9월 중순 약 100 mm의 강우로 수분함량이 회복되었으나 적습관개구와 같이 지하배수가 일어나지는 않았다. 장기간 토양이 건조한 상태로 유지되면 유효수분 상태로 회복하는데 시간이 소요되기 때문에 지하배수 또한 지연된다. 따라서 양분 유출량을 예측하기 위해서는 토양 수분조건과 강우 사상에 따른 지하 배수와 양분 용탈량을 장기간 모니터

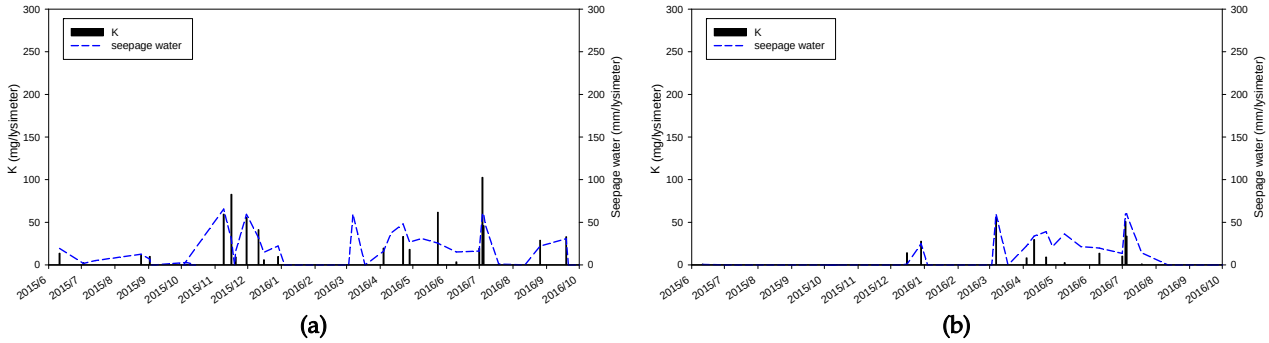


Fig. 6. Potassium leaching in a) irrigated and b) non-irrigated weighing lysimeter from June 2015 to October 2016.

Table 3. Yield of soybean by water managements

Treatments	Year	Pod weight (g m^{-2})	Grain weight (g m^{-2})	Percentage of immature pod (%)
Irrigated	2015	128.1	330.1	14.0
	2016	73.5	163.3	19.4
Non-irrigated	2015	35.7	81.1	31.5
	2016	31.4	45.1	28.2

Table 4. Nutrient leaching and crop uptake by water management

Treatments	Year	Fertilization (g m^{-2})			Leaching* (g m^{-2})			Crop uptake (g m^{-2})		
		N	P	K	N	P	K	N	P	K
Irrigated	2015	3.40	1.31	7.73	0.05	0.002	0.02	22.7	1.6	6.8
	2016	0.00	0.74	3.16	1.29	0.16	0.52	18.5	1.8	4.3
Non-irrigated	2015	3.40	1.31	7.73	-	-	-	15.7	1.0	6.1
	2016	0.00	0.74	3.16	0.82	0.07	0.13	15.1	1.6	3.9

*N : NO_3-N+NH_4-N, P : PO_4-P, K : Inorganic K

링 할 필요가 있다.

적습관개구과 무관개구 모두 연구기간 중 질산태질소의 농도는 지하 음용수 기준인 10 mg L^{-1} 미만이었고, 2016년 3월부터 7월 초까지 강우에 의한 지하 배수량은 무관개구와 적습관개구가 거의 유사하였다. 그러나 질산태질소 용탈량은 무관개구가 적습관개구보다 다소 높게 나타났고, 2016년 7월 초 5일간 강우가 지속되었을 때 무관개구의 질산태질소 용탈이 가장 많았다(Fig. 4). 지속적으로 지하배수가 있었던 적습관개구와 달리 2015년 배수가 거의 없었던 무관개구는 2016년 3월부터 강우에 의해 지하배수가 일어나면서 토양에 머물러있던 질산태질소가 물의 지하 이동에 따라 용탈되어 적습관개구보다 농도가 높았던 것으로 판단된다. 인산은 가장 강우량이 많았던 2016년 7월을 제외하고 거의 용탈이 일어나지 않았고(Fig. 5), 칼륨은 매 시기 약 0.5~2 mg L^{-1} 농도로 지하배수량에 비례하여 용탈되었다(Fig. 6).

적습관개 및 무관개구의 콩 수량과 양분수지

무관개구의 콩 수량은 적습관개구의 25% 수준이었으며, 미숙립의 비율은 무관개구에서 약 10~15% 정도 높았다(Table 3). Park 등(2014) 은 영양생장기 후기의 한발처리는 콩의 건물 생산량을 약 37% 감소시킨다 하였고, Shin 등(2015)은 콩 착협기에 15일간 한발처리를 한 경우 꼬투리 수 감소로 인해 종실 수량이 39% 정도 감소된다고 보고한 결과와 무관개구의 수량 감소가 일치하였다. 콩의 양분 흡수는 대부분 꼬투리 형성 초기에 증가하고 생육 후기에는 감소하는데(Sale and Campbell, 1980), 무관개구에서 꼬투리와 알곡이 정상적으로 형성되지 않은 원인은 개화기 및 착협기에 해당하는 7월 중순부터 8월 말까지 토양 수분 부족에 인한 것으로 판단된다.

적습관개구와 무관개구의 질소, 인산, 칼리 흡수량을 비교해보면 관개 여부에 따른 질소 흡수량 차이가 가장 컸고, 인산, 칼리의 흡수량 차이는 미미하게 나타났다(Table 4). 적습

관개구의 질소 흡수량이 무관개구에 비해 20~50% 더 높게 나타난 것은 적정 토양수분함량을 유지할 때 콩의 질소 흡수가 원활하기 때문으로 판단된다. 콩과 작물은 생물학적 질소고정을 통해 대부분의 질소를 공급받는데, 뿌리혹의 생육과 활성은 토양 수분에 민감하게 반응하기 때문에 건조 조건에서는 질소 고정이 제한된다(Albrecht *et al.*, 1994; Zahran, 1999). 결과적으로 착협기의 수분 부족은 콩의 질소 흡수를 저해하고, 최종 수량을 감소시키므로 콩의 생산성 유지를 위해서는 관개를 통한 적정 수분 공급이 필수적인 것으로 판단된다.

요 약

본 연구는 기상 조건 및 관개 여부가 양분용탈 및 콩의 양분 흡수에 영향을 미치는지 평가하기 위하여 중량식 라이시미터에서 2015년부터 2016년까지 콩을 재배한 결과를 제시하였다. 콩 재배기간인 6월부터 10월까지의 증발산량은 무관개구의 경우 강우에 따라 변동되었으며, 2016년 7월 중순부터 8월 말까지 지온상승 및 강우 빈도의 감소로 증발산량이 감소하다가 9월 중순 강우에 의해 유효수분 함량을 회복하여 생육 후기에 증발산량이 증가하였다. 질산태질소의 지하 용탈량은 2016년 7월 초 5일간 강우가 지속되었을 때 가장 많았으며, 그동안 지하배수가 거의 없었던 무관개구에서 더 높게 나타났다. 개화기 및 착협기인 7월 중순부터 8월까지 한발로 인하여 무관개구의 토양 수분함량은 7월 초의 50% 수준으로 유지되었으며, 콩 수량은 적습관개구의 25% 수준이었다. 적습관개구와 무관개구의 양분 흡수량을 비교한 결과 질소 흡수량이 적습관개구에서 20~50% 더 높았으며, 인산, 칼리 흡수량 차이는 미미하였다. 토양 수분함량은 콩의 질소 흡수에 영향을 미치며, 적정 수량을 생산하기 위해서는 관개를 통한 적정 수분 공급이 필수적이었다.

Notes

The author declare no conflict of interest.

Acknowledgement

This study was carried out with the support of "Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No.PJ0108672017)", National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

Albrecht, S. L., Bennett, J. M., & Boote, K. J. (1994). Relationship of nitrogenase activity to plant water stress in field grown soybeans. Field Crop Research, 8, 61-71.

Ashley, D. A. (1983). Soybean. Teare, I. D., Peet, M. M. (eds.). Crop-Water Relations, pp. 389-422. A Wiley Interscience Publication, New York, USA.

Baligar, V. C., Fageria, N. K., & He, Z. L. (2001). Nutrient use efficiency in plants. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 32(7-8), 921-950.

Blake, G. R., & Hartge. K. H. (1986). Bulk density in Methods of Soil Analysis, part1. Klute, A. (ed.). Monograph No. 9, ASA, Madison, Wisconsin, USA.

Gee, G. W., & Bauder, J. W. (1986). Particle size analysis. In: Methods of soil analysis, part1. Klute, A. (ed.). Monograph No. 9, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.

Holzman, M. E., Rivas, R., & Piccolo, M. C. (2014). Estimating soil moisture and the relationship with crop yield using surface temperature and vegetation index. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 28, 181-192.

Karam. F., Masaad, R., Sfeir, T., Mounzer, O., & Rouphael, Y. (2005). Evapotranspiration and seed yield of field grown soybean under deficit irrigation conditions. Agricultural Water Management, 75(3), 226-244.

Klammler, G., & Fank, J. (2014). Determining water and nitrogen balances for beneficial management practices using lysimeters at Wagna test site (Austria). Science of the Total Environment, 499, 448-462.

Lee, Y. J., Sung, J. K., Lee, S. B., Lim, J. E., Song, Y. S., Lee, D. B., & Hong, S. Y. (2017). Plant analysis methods for evaluating mineral nutrient. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer, 50(2), 93-99.

Park, S. J., Park, J. Y., Eom, K. C., & Moon. J. K. (2014). Determination of water use efficiency on the amount of water use for 29 Korean soybean cultivars. Korean Journal of Breeding Science, 46(4), 381-388.

Pinkerton, A., & Simpson, J. R. (1986). Interactions of surface drying and subsurface nutrients affecting plant growth on acidic soil profiles from an old pasture. Australian Journal of Experimental Agriculture, 26(6), 681-689.

Sale, P. W. G., & Campbell, L. C. (1980). Patterns of mineral nutrients accumulation in soybean seed. Field Crops Research, 3, 157-163.

Seo, M. J., Han, K. H., Jung, K. H., Cho, H. R., Zhang, Y. S., & Choi, S. Y. (2016). Effect of temperature and plow pan on water movement in monolithic weighable lysimeter with paddy sandy loam soil during winter season. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer, 49(4), 300-309.

Shin, S. H., Park, K. Y., Lim, S. G., Shin, S. O. & Ha, T. J.

(2015). Soybean plants maintained source-sink balance with grain yield reduced by drought stress during the full pod stage. Korea Soybean Digest, 32(1), 11-19.

Yang, J. H., Seong, R. C., Hong, B. H., & Kim, W. H. (2000). Responses of evapotranspiration and yield to different soil water conditions in soybean (Glycine max(L.) Merr.). Korean Journal of Breeding Science, 32(1), 258-259.

Zahran, H. H. (1999). Rhizobium-legume symbiosis and nitrogen fixation under severe conditions and in an arid climate. Microbiology and Molecular Biology Teviews, 63(4), 968-989.