

배수불량 경사지 논에서 배수개선에 따른 콩의 수분스트레스 반응해석

정기열* · 윤을수 · 박창영 · 황재복 · 최영대 · 박기도¹

농촌진흥청 국립식량과학원 기능성작물부, ¹농촌진흥청 녹색미래전략팀

Stress Day Index to Predict Soybean Yield Response by Subsurface Drainage in Poorly Drained Sloping Paddy Fields

Ki-Yuol Jung*, Eul-Soo Yun, Chang-Young Park, Jae-Bok Hwang, Young-Dae Choi, and Ki-Do Park¹

Functional Cereal Crop Research Division, NICS, RDA, Milyang, 627-830, Republic of Korea

¹Department of Planning & Coordination Division, RDA, Suwon, 441-707, Republic of Korea

There are considerable areas of wet paddy fields in Korea that requires improvement of its drainage system. In poorly drained sloping paddy fields, upland crops can be damaged by either rainfall or capillary rise of the water table caused by percolating water beneath the upper fields during summertime rainy season. The purpose of this study is to evaluate excess water stress of soybean yield by drainage systems. Four drainage methods namely open ditch, vinyl barrier, pipe drainage and tube bundle were installed within 1-m position at the lower edge of the upper paddy fields. Stress Day Index (SDI) approach was developed to quantify the the cumulative effect of stress imposed on a soybean yield throughout the growing season. SDI was determined from a stress day factor (SD) and a crop susceptibility factor (CS). The stress day factor is a measure degree and duration of stress of the (SEW₃₀). The crop susceptibility factor (CS) depends of a given excess water on crop stage. The results showed that SDI used to represent the moisture stress index was most low on the pipe drainage 64.75 compared with the open ditch 355.4, vinyl barrier 271.55 and tube bundle 171.55. Soybean grain yield increased continuously with the rate of 3% in Vinyl Barrier, 32% in Pipe Drainage and 16% in Tube Bundle.

Key words: Stress Day Index, Subsurface drainage, Soybean, Stress day factor, SWD₃₀

서 언

배수가 불량한 농경지에서는 토양수분이 과다하게 되면 토양공극에 수분이 포화되어 작물에 산소공급이 부족하게 되고 토양환원에 의한 유해 물질의 발생 등으로 미생물의 활동이 제한되어 작물에 스트레스를 주게 된다고 알려져 있다 (Box, 1991; Cannell & Jackson, 1981; Hiller, 1980; Plamenac, 1988, Wesseling, J, 1974;). 토양 과습에 의한 스트레스에 대한 반응은 작물의 종류와 생육시기에 따라 큰 차이가 있으며, 일반적으로 콩의 경우에는 다른 생육시기에 비해 개화기에서 협 형성기 (R2/R3 Stage)에 수분과다에 스트레스를 가장 많이 받고 수량감소가 크다고 알려져 있다 (Desmond et al, 1985; Evans et al, 1990; Griffin and Saxton, 1988; Scott et al, 1989).

작물생육기간 중 작물이 받는 수분과잉에 의한 수분 스

트레스 반응을 해석을 위한 여러 가지 모델이 개발되어 왔으며, Hiler (1969)는 수분 스트레스 반응을 정량화 하기 위해 지하수위의 누적일수기준으로 수분 스트레스 지표 (Stress-day Index, SDI)를 제안하였다. SDI는 SD (stress day factor)와 CS (crop susceptibility factor)를 이용하여 정량 하였다. SD는 토양 중에 수분과부족, 산소부족, 투수력, 지하수위 등의 값을 극한치와 연관하여 얻어지며 주로 과잉 토양수분으로 인하여 생기는 작물의 스트레스 정도를 나타내는 기준값이다. Sieben (1964)이 제안한 대부분의 작물 수분스트레스 지표인 지표 하 30 cm를 초과한 일평균 지하수위의 상승빈도 (SEW₃₀)를 SD factor 값을 계산하여 이용하였다. 또한 CS는 주요 생육기간 동안에 임계 스트레스를 받은 작물의 수량을 조사하여 실험적으로 계산하였다. Evans et al. (1991)은 옥수수과 콩을 대상으로 토양수분 과잉에 의한 수분 스트레스 반응을 정량화 하여 6년간 시험을 통해 Stress-day Index (SDI) 모델을 개발 하였다. Skaggs (1978)는 토양수분 과습에 의한 물 수지를 분석하고 배수개선 효과를 평가하기 위해 토양특성, 지하

접수 : 2011. 9. 8 수리 : 2011. 10. 18

*연락처 : Phone: +82553501263

E-mail: jungky@rda.go.kr

수위, 강우량, 증발산량, 투수량, 표면 유거량, 보수력 등의 요인을 적용한 물관리 모델 (DRAINMOD)를 개발하였으며, Hardjoamidjojo et al. (1982)은 과잉 토양수분 스트레스에 의한 작물의 수량 예측모델을 개발하였다.

따라서 본 연구는 경사지 배수불량 논에서 발작물의 안정적인 생산기술을 개발하기 위해 논둑 바로 밑에 1열로 명거 (겉도랑) 배수, 비닐차단막, 암거 (속도랑)배수, 관다발 등 4개의 배수시설을 설치후 배수개선 방법별 콩의 수분 스트레스 반응해석을 통한 배수개선 효과를 비교 분석하였다.

재료 및 방법

공시토양의 특성 배수개선 시험이 수행된 토양은 경남 창원시 북면 외산리에 소재한 경사 7~15%의 곡간 상부에 위치한 토양으로 화강암에서 유래된 산성암 충적층을 모재로 이루어진 토양으로 미 농무성 (USDA)의 새로운 분류방법에 의하면 식양계의 회색토로 지산통 (fine loamy, mixed, mesic family of Fluvaquentic Endoaquept)에 해당된다. 주변이 산으로 둘러싸여 있어 연중 농경지 논둑 아래에서 용출수가 유입되어 산 측은 연중 과습하고 논둑 측은 상대적으로 수분이 낮아 필지 내 수분상태가 불

균일한 농경지 이었다. 표토 (Ap층)는 암회갈색 (2.5Y 4/2)의 양토이고 심토1 (Bg층)에는 회색 (5Y 5/1)의 식양토이며 심토2 (BCg층)은 회색 (5Y 5/1)의 사양토로 이루어진 토양이다 (Table 1).

배수개선 방법 시험구 배치는 배수가 “매우불량”인 논 2개 필지, 배수등급이 “약간불량”인 논 2개 필지로 선정하였다 (Fig. 1). 배수개선 방법은 명거배수 (Open Ditch), 비닐차단막 (Vinyl Barrier), 암거배수 (Pipe Drainage), 그리고 관다발 (Tube Dundle) 등 총 4개로 선정하여 배수시설 장변 방향으로 논둑 바로 밑에 1열로 각각 설치하였다. 명거배수 (겉도랑 배수)는 폭 30 cm에 깊이 30 cm의 지표 배수로를 설치하였고, 비닐차단막은 논둑 기저부에 60~90 cm 깊이로 터파기를 한 다음 용출수 유입을 차단하기 위해 논 면의 기벽에 $\varnothing 0.3$ mm 두께의 비닐을 매설 후 흙으로 되 매움하여 설치하였다. 관다발 배수는 대나무로 30 cm직경의 다발로 묶어 60 cm~90 cm 깊이에 매설한 후 흙으로 되 매움 하였으며 암거배수 (속도랑 배수)는 폭 50 cm에 깊이는 상류부 60 cm, 하류부 90 cm로 굴삭하고 20 cm 직경의 유공흡수관을 매설하고 흡수구는 상류로부터 침출수를 최대한 흡수하기 위해 소수재 (자갈층)를 논

Table 1. Physical properties of the soil research field before experiment.

Horizon	Depth cm	Bulk density Mg m ⁻³	Three phases			Porosity %	Textural Class
			Solid	Water	Air		
			----- % -----				
Ap1	0-10	1.18	44.5	40.2	15.3	55.5	loam
Ap2	10-20	1.55	58.6	25.9	15.5	41.4	loam
Ag	20-24	1.62	61.2	24.1	14.7	38.8	loam
Bg	24-35	1.60	60.3	22.3	17.4	39.7	Sandy loam
BCg	35+	1.60	60.4	25.0	14.6	39.6	Sandy loam

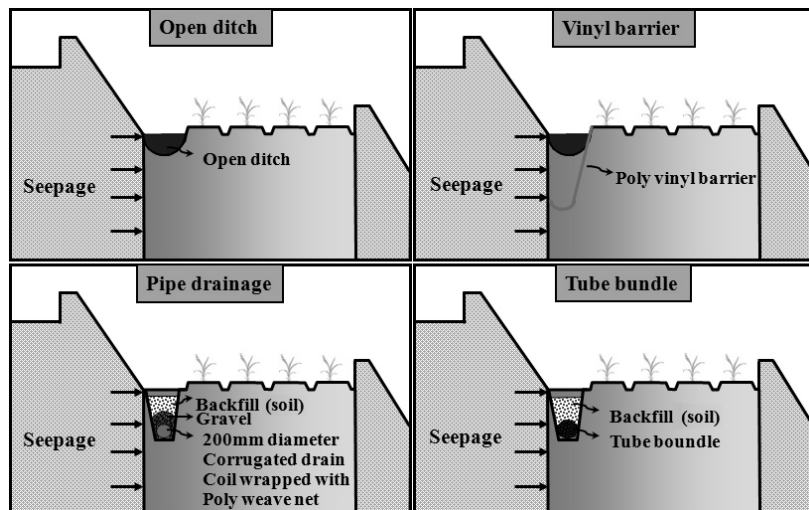


Fig. 1. Diagram of various drainage systems.

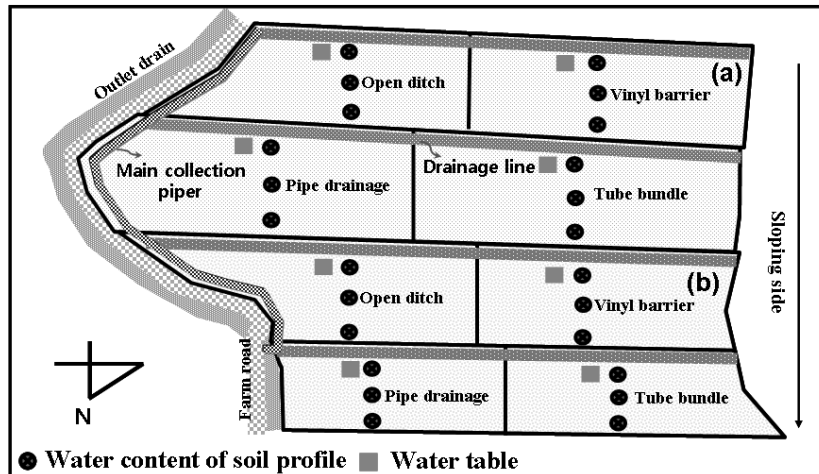


Fig. 2. Monitoring positions of soil water content and water table level at experimental field: (a) poorly drained field; (b) somewhat poorly drained field.

면의 15~20 cm 깊이까지 충전하였다.

지하수위 및 토양수분 측정 배수방법별 지하수위의 실시간 변동을 측정하기 위해 논둑 밑 배수개선 지점에서 3 m 지점에 깊이 1.5 m까지 측정할 수 있는 데이터로거가 장착된 수위측정기 (Ecotone™ WM)를 설치하고 1시간 단위로 수위 변화를 조사하였다 (Fig. 2). 또한 토양 깊이별 토양수분은 배수개선지점에서 3 m, 10 m, 15 m 지점에 각각 Electrical Capacitance 방식의 층위별 수분측정센스 (Easy AG50-5Wire, Sentek Pty Ltd)를 설치하여 토양 면에서 토양의 깊이에 따라 10 cm 단위로 0~50 cm까지 1시간 간격으로 파종기부터 수확기까지 콩 생육기간 동안 토양수분을 측정하였다.

수분 스트레스 지표 배수방법별 지하수위를 기준으로 수분 스트레스는 작물생육기간 중 작물이 받는 수분과잉에 의한 스트레스의 누적일수를 정량화 하기위해 Hiler (1969)가 제안한 수분 스트레스 지표 (Stress-day Index, SDI)를 적용하여 수식 (1) 과 같이 분석하였다.

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

- 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 토양수

분으로 인하여 생기는 작물의 스트레스 정도를 나타내는 기준값으로 Sieben (1964)이 제안한 수분스트레스 지표인 지표 하 30 cm를 초과한 일평균 지하수위의 상승빈도 (SEW₃₀)를 SD factor로 대신할 수 있다고 밝혀 수식 (2)과 같이 SD factor 값을 계산하였다.

$$SEW_{30} = \sum_{i=1}^n (30 - WTD_i) \quad (2)$$

- 여기서, SEW₃₀ : 지표 하 30 cm를 초과한 일평균 지하수위의 상승빈도
- WTD_i : i 일의 일 지하수위의 깊이 (cm)
- n : 생육기간 일수

과잉수분의 초과일수 (SED₃₀)는 수식 (3)과 같이 지하수위 깊이가 30 cm를 초과한 일평균 지하수위의 누적일수를 이용하여 지하수위 변화를 분석하였다.

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

CS (crop susceptibility factor)는 작물의 주요 생육기간 동안에 임계 스트레스를 받은 작물의 수량을 조사하여 Hiler (1969)가 제안한 각각 생육시기에 대한 Crop susceptibility factor 산출수식 (4)를 적용하여 계산하였다.

$$CS_i = \frac{X - X_i}{X} \quad (4)$$

- 여기서, X_i : i 생육기에 임계 스트레스를 받은 작물의 수량
- X : 아무런 스트레스를 받지 않은 경우의 작물 수량

콩 생육 및 수량 조사 공시작물은 중만생종인 태광콩을 공시하였으며, 재식거리는 60 cm × 15 cm하였고 주

당분수는 2분으로 하였다. 또한 시비량은 성분량으로 질소 인산 칼리를 각각 30, 30 및 34 kg ha⁻¹로 하여 전량 기비로 주었으며 재배법은 농촌진흥청 콩의 표준재배법에 준하여 재배하였으며, 콩의 생육 및 수량조사는 농촌진흥청 농사시험연구조사기준 (1995)에 의해 완숙기 (R8 stage)에 배수지점에서 논둑 방향으로 3 m 간격으로 (3 m, 6 m, 9 m, 12 m, 15 m) 3반복으로 경장, 경장, 경태, 백립중, 주당립수, 주당협수, 수량 등을 조사하였다.

결과 및 고찰

배수방법별 토양수분 변화 토양의 배수조건이 다른 포장에 배수시설을 시공한 후 배수시설 지점에서 거리 별로 논둑 밑 (5 m), 논 중앙 (10 m), 논 바깥쪽 (15 m) 등 세 지점에 층위별 토양수분 측정장치를 설치하여 콩 생육 기간 중 토양의 깊이에 따른 토양수분의 변화특성을 분석하였다 (Table 2). 배수 매우불량지에서 토양수분이 30 mm day⁻¹를 초과한 토양수분 포화 누적시간은 명거배수가 1,270 hr, 비닐차단막 165 hr, 관다발 114 hr인 반면 암거배수 처

리구에서는 100 hr으로 낮아지는 경향을 보였으며, 또한 강우 후 토양수분의 포화지속시간은 명거배수가 775 hr, 비닐차단막 751 hr, 관다발 727 hr인 반면 암거배수 처리구에서는 95 hr으로 낮아지는 경향을 보였다. 생육기간 중 평균 수분함량은 명거배수가 33.05 mm, 비닐차단막 29.34 mm, 관다발 24.68 mm인 반면 암거배수 처리구에서는 17.91 mm 이었다. 배수 약간불량지의 토양수분 변화는 배수 매우불량지에서와 같이 배수개선 방법별로 유사한 경향을 보였으며, 암거배수 처리구에서의 토양수분포화누적일수, 강우 후 토양수분포화지속시간, 생육기간 중 평균 수분함량 등은 비닐차단막, 관다발 배수에 비해 훨씬 낮은 경향을 보였고, 평균 수분감소량은 높아지는 경향을 보였다.

배수방법별 지하수위 변화 배수방법에 따른 평균 지하수위의 변화는 배수 매우불량지가 배수 약간불량지에서 보다 높았으며, 배수개선 방법별 평균 지하수위는 배수 매우불량지에서 암거배수 처리구가 -325.51 mm로 명거배수 -132.80 mm, 비닐차단막 -161.68 mm, 관다발 -251.52 mm 에 비해 낮은 경향을 보였고, 배수 약간불량지에서도 암거

Table 2. Comparison of soil water content factors in different drainage methods.

Type of Drainage	Duration time of excess water	Av. Soil water content	Duration time
	hr >30 mm		Excess water after rainfall hr >30 mm
Poorly drained			
Open ditch	1,270	33.05	775
Vinyl barrier	165	29.34	751
Pipe drainage	100	17.91	95
Tube bundle	114	24.68	727
Somewhat poorly drained			
Open ditch	116	18.94	14
Vinyl barrier	25	24.11	15
Pipe drainage	10	12.76	5
Tube bundle	16	17.68	7

Table 3. Comparative values of water table factors in different drainage type.

Type of Drainage	Av. Water table level	Decrease of water table	SED ₃₀ [†]	SEW ₃₀ [‡]
	mm	mm day ⁻¹	day	mm
Poorly drained				
Open ditch	-132.8	6.6	147	2,207
Vinyl barrier	-161.7	10.5	112	1,938
Pipe drainage	-325.5	16.8	31	444
Tube bundle	-251.5	10	108	1,262
Somewhat poorly drained				
Open ditch	-396.9	20	60	1,037
Vinyl barrier	-427.9	20	56	860
Pipe drainage	-742.9	3.4	7	28
Tube bundle	-480.8	12.7	34	254

[†] SED₃₀ = (Sum of Excess Water over 30 cm)

[‡] SEW₃₀ (Sum of Excess Water Depth) = $\sum_{i=1}^n (30 - WTD_i)$.

배수 처리구가 -742.89 mm로 명거배수 -396.99 mm, 비닐 차단막 -427.99 mm, 관다발 -480.81 mm에 비해 낮은 경향을 보였다. 또한, 지하수위의 감소량은 명거배수 6.61 mm, 비닐차단막 10.51 mm, 관다발 10.07 mm인데 비해 암거배수 처리구가 16.84 mm로 높은 경향을 보였다 (Table 3).

수분 스트레스 반응 배수방법별 지하수위를 기준으로 생육기간 중 콩의 수분과잉에 의한 스트레스의 누적일수를 정량화하기 위해 분석한 결과는 Table 3에서와 같았다. 지하수위 30 cm를 초과일수의 합 (SED₃₀)은 명거배수가 147일, 비닐차단막 112일, 관다발 108일 인데 비해 암거배수구에서는 31일 이었다. 또한 과잉수분에 의한 작물 스트레스 지표 (stress day factor; SD)로 이용되는 지하수위 30 cm를 초과한 일평균 지하수위의 상승빈도 (SEW₃₀)는 명거배수 2,207 mm, 비닐차단막 1,938 mm, 관다발 1,262 mm 인데 비해 암거배수에서는 444.5 mm 낮은 경향을 보였다. Sieben (1964)은 발작물은 지하수위 30 cm 초과수위의 합 (SEW₃₀)이 1000~2000 mm 보다 크면 수량감소를 가져오며, 1000 mm 이내에 있으면 안전하다고 하였다. 따라서 위의 SEW₃₀ 기

준으로 배수방법별로 스트레스 지표를 비교하면 명거배수, 비닐차단막, 관다발 처리구는 발작물 안전기준을 초과하였으나 암거배수구에서는 지하수위가 안전기준에 부합되는 것으로 나타났다. 그리고 배수 약간불량지에서는 명거배수구에서 1,037 mm로 안전기준을 초과하였으나 다른 배수 처리구에서는 비닐차단막 860 mm, 관다발 254 mm 암거배수 28 mm로 습해에 안전한 것으로 나타났다.

배수개선 방법별 콩이 받는 수분 스트레스 지표 (SDI)를 분석한 결과는 Table 4에서와 같았다. 명거배수 처리구의 SDI는 비닐차단막, 관다발, 암거배수 처리구에 비해 높은 경향을 보였고, 특히, 명거배수 처리구에서 생육단계별 SDI는 0.96에서 102 범위이었으며, 암거배수는 0에서 34로 명거배수에 비해 낮은 경향을 보였다. 배수방법별 콩의 생육기간 중 수분 스트레스 지표 (SDI)는 명거배수 처리구 355.40, 비닐차단막 271.55, 관다발 171.55로 높은 경향을 보여 과습에 의한 영향을 가장 많이 받은 것으로 나타났으나, 암거배수 처리구에서는 64.75로 배수개선 효과가 가장 높은 것으로 나타났다.

Table 4. Comparison of Stress Day Index (SDI) in soybean growth stage by drainage methods.

Soybean Growth Stage [†]	Development & Stage	CS [‡] Factors	SDI [§]			
			Open ditch	Vinyl barrier	Pipe drainage	Tube bundle
Establishment	V0-V4	0.19	69.52	57.61	10.1	35.66
Vegetative	V5-V13	0.13	102.51	107.59	34.3	73.46
Flowering	V14-V17/	0.19	74.06	64.02	10.78	43.51
	R1-R2					
Pod Development	R3-R4	0.26	61.23	15.14	6.58	2.6
Pod Filling	R3	0.25	25.68	0.8	0	0
Ripening						
(Pods full size bean)	R6	0.08	20.25	25.07	2.34	14.42
(Pod yellowing)	R7	0.01	0.96	1.02	0.19	0.91
(Pod brown)	R8	0.00	1.19	0.3	0.46	0.99
SUM			355.4	271.55	64.75	171.55

[†]Stage = Refers to stage of soybean development described by Fehr et al. (1971).

[‡]CS_i = Crop susceptibility factor for stage_i; Crop susceptibility values of soybean by excessive soil water stress described by (Evans et al.,1990).

[§]SDI = Stress-Day Index.

Table 5. Comparison of yield and yield components of soybean by the drainage methods in different drainage classes.

Type of Drainage	Stem length cm	Branches per plant No. plant ⁻¹	Node per plant No. plant ⁻¹	Seed weight g 100 seed	Soybean Yield kg ha ⁻¹
Poorly drained					
Open ditch	46.1 c	3.8 ab	36.4 b	24.0 a	1,585 c
Vinyl barrier	48.3 b	4.3 b	39.6 b	24.0 a	1,633 c
Pipe Drainage	54.8 a	4.6 a	46.2 a	23.3 b	2,086 a
Tube bundle	48.4 b	4.2 ab	35.8 b	23.1 b	1,921 b
Somewhat poorly drained					
Open ditch	69.1 c	5.0 a	42.9 b	23.3 b	2,530 c
Vinyl barrier	66.9 c	4.9 a	44.9 b	24.6 a	2,620 b
Pipe Drainage	77.6 a	5.2 a	49.6 a	23.9 ab	2,703 a
Tube bundle	72.8 b	5.2 aa	48.6 a	23.9 ab	2,642 ab

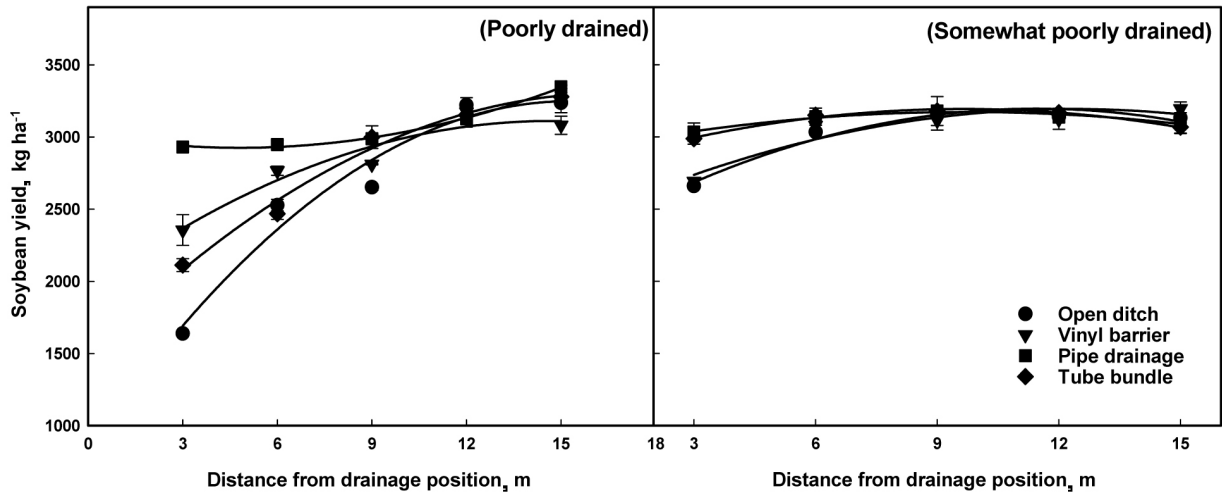


Fig. 3. Comparison of soybean yield as distance at installed drainage position by drainage method.

콩 생육 및 수량 변화 배수등급별 콩 수량은 배수 약간불량지가 배수 매우불량지에 비해 높았으며, 배수약간 불량지에 비해 매우불량지에서 배수방법별 수량변화의 차이가 크게 나타났다 (Table 5). 배수 방법별 콩 수량은 암거배수 2,086 kg ha⁻¹로 명거배수 처리구 1,585 kg ha⁻¹에 비해 32%, 비닐차단막 1,633 kg ha⁻¹로 3%, 관다발 처리구 1,922 kg ha⁻¹로 21% 증수되었으며, 암거배수 처리구가 다른 배수방법에 비해 유의성이 인정되었다. 반면 배수 약간불량지에서는 배수개선에 따라 명거배수 대비 비닐차단막 처리구에서 3%, 암거배수 7% 관다발, 4% 증수되어 배수 매우불량지에 비해 배수개선에 의한 증수효과가 낮은 것으로 나타났다. 특히, 이랑거리별 콩 수량은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 명거배수, 비닐차단막, 관다발 처리구에서는 배수지점에서 포장의 중앙 부분까지 수량이 낮아 포장내 콩 수량의 변이가 크게 나타났다. 반면 암거배수 처리구에서는 논둑 밑에서 논둑 방향으로 수량성이 균일한 것으로 나타났다. 이러한 결과로 명거배수, 비닐차단막, 관다발 처리구에서는 시험기간 중 강우와 논둑 밑에서 유입된 과잉 수분을 완전히 배제시키지 못해 포장의 논둑 밑은 과습하고 논두렁 쪽은 상대적으로 건조해져 수분상태가 불균일한 반면 암거배수 처리구의 경우에는 논둑 밑 용출수 유입을 차단하여 포장의 수분상태가 균일해진 결과로 판단되었다.

요 약

경사지 논토양에서 발작물 재배확대를 위한 합리적인 배수개선 방법을 개발하기 위하여 “배수불량”인 경사지 논토양 (경사 7-15%, 지산통)을 대상으로 배수조건에 따라 “매우불량”인 논 2개 필지, “약간불량”인 논 2개 필지의 논둑

아래 기저부에 1열로 명거 (겉도랑 배수), 비닐차단막, 암거 (속도랑 배수), 관다발 등 네 가지 종류의 배수시설을 설치하여 배수개선 방법에 따른 콩의 수분 스트레스 반응해석을 통한 배수개선 효과를 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

배수시설 설치 후 콩 생육기간 중 지표 하 30 cm를 초과한 일평균 지하수위의 합계 (SED₃₀)는 명거배수가 147일로 높게 나타난 반면 암거배수가 31일로 나타났다. 또한 지하수위 30 cm를 초과한 수위의 합 (SEW₃₀)은 명거배수 처리구가 2,207 mm, 비닐차단막 1,938 mm, 관다발 1,262 mm로 발작물의 수분 스트레스 지표인 1,000 mm 보다 초과하였으나 암거배수 처리구에서는 444 mm 한계 스트레스 지표보다 낮은 경향을 보였다.

배수방법별 콩의 생육기간 중 수분 스트레스 지표 (SDI)는 명거배수 처리구 355.40, 비닐차단막 271.55, 관다발 171.55로 높은 경향을 보여 과습에 의한 영향을 가장 많이 받은 것으로 나타났으나, 암거배수 처리구에서는 64.75로 배수개선 효과가 가장 높은 것으로 나타났다.

배수개선에 따른 콩 수량은 배수 약간불량지가 배수 매우불량지에 비해 높았으며, 배수 약간불량지에 비해 매우불량지에서 배수방법별 수량변화의 차이가 크게 나타났다. 또한 명거배수 처리구 1,585 kg ha⁻¹에 비해 암거배수 2,086 kg ha⁻¹로 32%, 비닐차단막 1,633 kg ha⁻¹로 3%, 관다발 처리구 1,922 kg ha⁻¹로 21% 증수되었으며, 암거배수 처리구가 다른 배수방법에 비해 통계적 유의성이 인정되었다.

따라서 “배수불량”인 경사지 논에서는 논둑 밑 1열의 암거배수시설을 설치로 논에서 발작물의 안정적인 생산과 농지자원의 이용전환 즉 논을 밭으로 이용해야 하는 범용농지 기반조성에 조성을 위한 저비용의 실용적인 배수개선 방법개발에 기여할 것으로 본다.

인 용 문 헌

- Box, J.E.Jr. 1991. The effect of waterlogging on rooting intermittent flooding on germination and seeding growth of cotton. *Trans. ASAE*. 14:567-570.
- Cannell, R.Q. and M.B. Jackson. 1981. Alleviating aeration stress. p. 141-192. *In* G.f. Arkin and H.M. Talors (ed) *Modifying the root environment to reduce crop stress*. ASAE. St.Joseph. MI.
- Desmond, E.D., G.F. Barkle, and G.O. Schwab. 1985. Soybean yield response to excess water ASAE. Pap. No.85-2562. ASAE. St Joseph. MI.
- Evans, R.O., R.W. Skaggs, and R.E. Sneed. 1990. Normalized crop susceptibility factors for corn and soybean yield under high water table condition. Ph. D. diss. North Carolina State Univ.
- Evans, R.O., R.W. Skaggs, and R.E. Sneed. 1991. Stress say index models to predict corn and Soybean relative yield under high water table condition. *Trans. ASAE*. 34:1997-2005.
- Fehr, W.R., C.E. Caviness, D.T. Burmood, and J.S. Pennington. 1971. Stage of development description for soybeans. *Glycine max (L.) Merrill*. *Crop Sci*. 11:929-931.
- Hiler, E.A. 1969. Quantitative evaluation of crop drainage requirements. *Trans. ASAE*. 12:499-805.
- Hardjoamidjojo. S. and R.W Skaggs. 1982. Predicting the effects of drainage systems on corn yields. *Agricultural Water Management*. 5(2):127-144
- Hiler, E.A. 1969. Quantitative evaluation of crop-drainage requirements. *Trans. ASAE*. 12(4):499-505.
- Hiler, E.A. 1976. Drainage requirements of crops *Proc. ASEA, Third national Drainage Symposium*. ASAE. p.127-129.
- Griffin, J.L. and A.M. Saxton. 1988. Response of soild-seeded soybean to flood irrigation. Flood duration. *Agron. J*. 80:885-888.
- Sieben, W.H. 1964. Relation of drainage conditions and crop yields on young light clay soils in the yssellake polders. *Van Zee tot Land*, No. 40.
- Scott, H.D., J. DeAngulo, M.B. Deniels, and L.S. Wood. 1989. Flood duration effect on soybean growth and yield. *Agron. J*. 81:631-636.
- Plamenac, N. 1988. Effects of subsurface drainage on heavy hydromorphic soil in the Nelindvor area, Yugoslavia. *AWM*. 14:19-27.
- Skaggs, R.W. 1978. A water management model for shallow water table soils, Rep. No. 134, *Water Resour. Res. Inst. Univ. North Carolina*. p. 178.
- Wesseling, J. 1974. Crop growth and wet soils. p. 39-90. *In* J. van Schitfgaard (Ed) *Drainage for Agriculture*. *Agron. Monogr*. 17.ASA. Madison. WI.