

과습에 따른 콩 지하부 생육반응

이재은*[†] · 김홍식** · 권영업* · 정건호* · 이춘기* · 윤홍태* · 김정곤*

*농촌진흥청 국립식량과학원, **충북대학교 농업생명환경대학

Responses of Root Growth Characters to Waterlogging in Soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]

Jae-Eun Lee*[†], Hong-Sig Kim**, Young-Up Kwon*, Gun-Ho Jung*, Chun-Ki Lee*,
Hong-Tai Yun*, and Chung-Kon Kim*

*National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 441-857, Korea

**College of Agriculture Life & Environment Sciences, Chungbuk National Univ., Cheongju 361-763, Korea

ABSTRACT Stress from excess water is one of the most harmful limiting factor in soybean yield during the wet season under the climate conditions. Soybean is very sensitive to excess water compare to other crops. This experiment was carried out to identify the growth responses for establishing a screening system related to waterlogging tolerance in soybean from 2003 to 2004. The root dry weight accumulation rate of per day for 21 days after waterlogging at V5 stage was the highest in Pungsannamulkong (47~56% of control) and was the lowest in Jangyeobkong (26~27% of control). The nodules dry weight recovery rate was the highest in Pungsannamulkong (83~91% of control), while the lowest in Myungjunamulkong (48~66% of control). After waterlogging, recovery rate of roots was high, which increased the root/shoot ratio of Pungsannamulkong, which also produced significantly more adventitious roots than in Jangyeobkong. The percentage of adventitious roots fresh weight to the total roots fresh weight was the lowest in Myungjunamulkong (14%), while the highest in Pungsannamulkong (38%). This results implies that the water and nutrients absorbing ability of Pungsannamulkong is more higher than that of Myungjunamulkong during late growth period.

Keywords : soybean, waterlogging, root, dry weight, adventitious root

콩은 요수량이 매우 크며 종실중의 50% 정도 수분을 흡수해야 발아가 가능할 정도로 다른 작물에 비하여 생육하는데 많은 수분을 필요로 하므로 한발에 매우 약한 작물로 알

려져 있다(권과 이, 1988). 반면에 콩의 산소 소비량은 20~30°C에서 뿌리가 2~4.3 $\mu\text{l/g/min}$ 이고, 근류가 10~30 $\mu\text{l/g/min}$ 로, 옥수수의 0.8~1.8 $\mu\text{l/g/min}$ 나 수수의 1.4~2.4 $\mu\text{l/g/min}$ 에 비해 매우 크다. 습해는 근권의 산소부족에 기인하므로, 생물학적 질소고정을 하는 콩은 많은 산소가 요구되어 과습에 매우 민감한 작물이라고 할 수 있다(Williamson & Kriz, 1970). 식물체의 근권은 일반적으로 산소농도에 따라 과습조건을 i) 산소농도가 충분하여 호흡과 대사작용이 정상적으로 이행되고 ATP 생성이 산화적 인산화과정을 통해 이루어지는 normoxia(호기적 상태), ii) 산소가 산화적 인산화과정을 통한 ATP 생성의 제한요소로 작용하기 시작하여 ATP 생성의 상당부분이 해당작용에 의해 이루어지는 hypoxia(저산소 상태), iii) 해당작용에 의해서만 ATP가 생성되기 때문에 단백질합성, 세포분열 및 세포신장이 저해되는 anaerobiosis(무산소 상태)의 세가지로 분류된다(James *et al.*, 2004).

우리나라에서는 작토층이 얇아 콩의 뿌리가 대부분 표층 25 cm 이내에 분포하고 있으나 미국의 경우에는 작토층이 깊고 콩 뿌리가 토심 50~70 cm까지 분포 한다(권과 이, 1988). 뿌리가 침수되면 산소분압이 비교적 높은 지표면 가까이에서 부정근이 발생하는데, 내습성이 강한 품종일수록 부정근 발생수가 많아 생육후기의 양수분 흡수능력이 증대되어 감수가 적다. 따라서 국내에서 육성된 대표적인 35개 장려품종의 과습에 의한 부정근 발생정도에 따라 습해 저항성을 검정한 결과, 내습성이 강한 품종으로 무한콩 등 10개, 중강인 품종이 백운콩 등 14개, 중약인 품종이 남해콩 등 6개, 그리고 약한 품종이 명주나물콩 등 5개로 분류되었다(성, 1998). 과습에 따른 부정근발생은 ethylene에 의해 촉진되는데,

[†]Corresponding author: (Phone) +82-31-290-6743
(E-mail) soybean6010@korea.kr <Received July 14, 2009>

고농도의 ethylene은 부정근 형성조직의 내생 auxin 감응도를 높이며(Visser *et al.*, 1996), 단기간의 과습인 경우 뿌리가 짧고, 굵고, 약해지며 cortical cell 조직이 목화(lignification) 되거나 목전화(suberization)되기 때문에 양·수분의 흡수가 저해된다(福井重郎, 1965). 콩의 근류는 파종 후 20~30일경부터 실질적으로 콩에 질소를 공급하기 시작하는 데, 정상적인 생육조건에서는 근류의 발달과 질소고정이 종실발육 초기(R5 stage)까지 계속 증가하여 최고수준에 이르고 10~15일간 유지된 후 감소하기 시작한다(권과 이, 1988). 근류의 활성은 근권의 산소농도에 매우 민감하여, 콩의 수량은 근권의 산소확산율(oxygen diffusion rate)이 $15 \text{ g} \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{min}$. 일 때 가장 높고, $5 \text{ g} \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{min}$. 이하일 때 35% 감소하는 것으로 보고하였다(Williamson & Kriz, 1970). 콩이 14일간 과습을 받을 경우 근류는 산소부족으로 nitrogenase의 활성이 현저히 저하된다고 하였으며(Bennet *et al.*, 1984), 이밖에도 영양생장기에 과습되면 개체당 근류중이 43~50% 감소하며, 생식생장기에 과습을 받으면 질산태 질소의 환원능력이 50% 정도 감소한다고 하였다(권과 이, 1988).

최근 지구온난화에 따른 기상재해 빈도 및 강도가 갈수록 심화되고 있다. 그러나 콩의 습해에 대한 연구는 한발에 대한 연구에 비하여 매우 빈약한 실정이다. 따라서 콩이 습해를 받을 경우 지하부의 생육반응을 구명하여, 향후 재배면적 확대가 예상되는 논에서의 콩 재배 및 기상여건상 피할 수 없는 과습장해에 대비한 내습성 콩 품종의 조기 육성 및 습해 경감기술개발을 위한 기초자료를 제공하고자 본 시험을 수행하였다.

재료 및 방법

본 시험은 국립식량과학원 전작포장에 설치된 연동비닐 하우스(15×30 m)내에서 2003년과 2004년에 수행하였다. 하우스에는 온도조절을 위해 천정과 양측면 개폐장치와 앞뒤 출입문 상단의 4곳에 환기 fan을 설치하였다. 시험품종은 내습성 정도가 다른 것으로 알려진 장엽콩, 풍산나물콩, 명주나물콩, 무한콩 및 Peking 등 5품종을 사용하였다. 직경 20 cm 높이 70 cm의 플라스틱관을 이용해 만든 pot에 흙, 모래, 피트머스 및 퇴비를 중량비율 3 : 3 : 2 : 2로 혼합한 상토를 채우고, 5월 27일에 pot 당 4립씩 파종하였으며, V1 stage에 pot당 2개체를 남기고 솟아주었다. 과습처리는 V5 stage와 R2 stage에 각각 10일간 지표위 2 cm까지 침수 처리로 과습을 유발하였으며, 대조구는 지하수위를 50 cm (pF 2.0)로 유지하였다. 시험구배치는 2요인 시험 완전임의 배치 3반복으로 하였다. 건물중은 V5 stage 과습처리 시작

직후, 과습처리 종료 후 14일 및 21일의 3시기에 처리당 2개체를 반복별로 채취하여 부위별(엽, 경, 엽병, 뿌리, 근류)로 분리하고, 80°C의 건조기에서 48시간 동안 건조한 후 측정하였다. 연동하우스에서 수행한 토심별 뿌리분포 측정을 위한 시험은 과습처리 했을 때 물이 새지 않도록 아크릴로 만든 40×10×50 cm 크기의 root box에서 하였다. 실험재료, 파종기와 시험구배치는 연동하우스에서 수행한 시험과 동일하였다. box당 2립을 파종한 후 V1 stage에 box당 1개체를 남기고 솟아주었다. 과습처리는 V5 stage에 10일간 지표위 2 cm로 하였다. 과습처리 종료직후와 21일후에 root box내의 뿌리와 흙을 고정판과 함께 빼내어 10 cm씩 토양깊이별로 분리하여 근류와 뿌리를 조심하여 물로 씻은 후, 80°C 48시간 동안 건조기에서 건조 후 건물중을 측정하였다. 통계분석은 SAS PC Package(Version 8.1)를 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

뿌리 및 근류 건물중

V5 stage 과습처리 종료 21일 후 뿌리건물중과 근류건물중에 대한 분산분석 결과는 Table 1과 같다. 뿌리건물중은 연차간, 처리×연차 상호작용, 품종×처리 상호작용 및 품종×처리×연차 상호작용은 유의적인 차이가 없었으나, 품종간, 품종×연차 상호작용 및 처리간에는 고도의 유의적인 차이가 있었다. 근류건물중은 연차간 및 처리×연차 상호작용은 유의적인 차이가 없었으나, 품종간, 품종×연차 상호작용, 처리간, 품종×처리 상호작용 및 품종×처리×연차 상호작용은 고도의 유의적인 차이가 있었다.

V5 stage 과습처리 종료 21일 후 뿌리건물중과 과습처리 종료 후 21일간 뿌리건물중의 일당 증가속도는 Fig. 1과 같다. 2003년의 경우 장엽콩과 명주나물콩의 뿌리 건물중은 과습구가 대조구의 47~49%였고, 풍산나물콩과 무한콩은 64~67%였다. 풍산나물콩과 무한콩은 장엽콩과 명주나물콩에 비해 과습에 의한 뿌리 건물중의 감소가 더 적었다. Peking은 과습구가 대조구의 56%로 뿌리 건물중의 감소가 중간정도 이었다. 2004년의 경우도 장엽콩과 명주나물콩의 뿌리 건물중은 과습구가 대조구의 49~52%였고, 풍산나물콩과 무한콩은 59~60%였다. 풍산나물콩과 무한콩은 장엽콩과 명주나물콩에 비해 과습에 의한 뿌리 건물중의 감소가 더 적었고, Peking은 과습구가 대조구의 55%로 뿌리 건물중의 감소가 중간정도 이었다. 과습처리 종료 후 21일간 뿌리건물중의 일당 증가량은 2003년의 경우 풍산나물콩과 무한콩이 과습구가 대조구의 54~56%였으며 장엽콩과 명주나물콩은 과습구가 대조구의 26%로 뿌리건물중의 일당 증

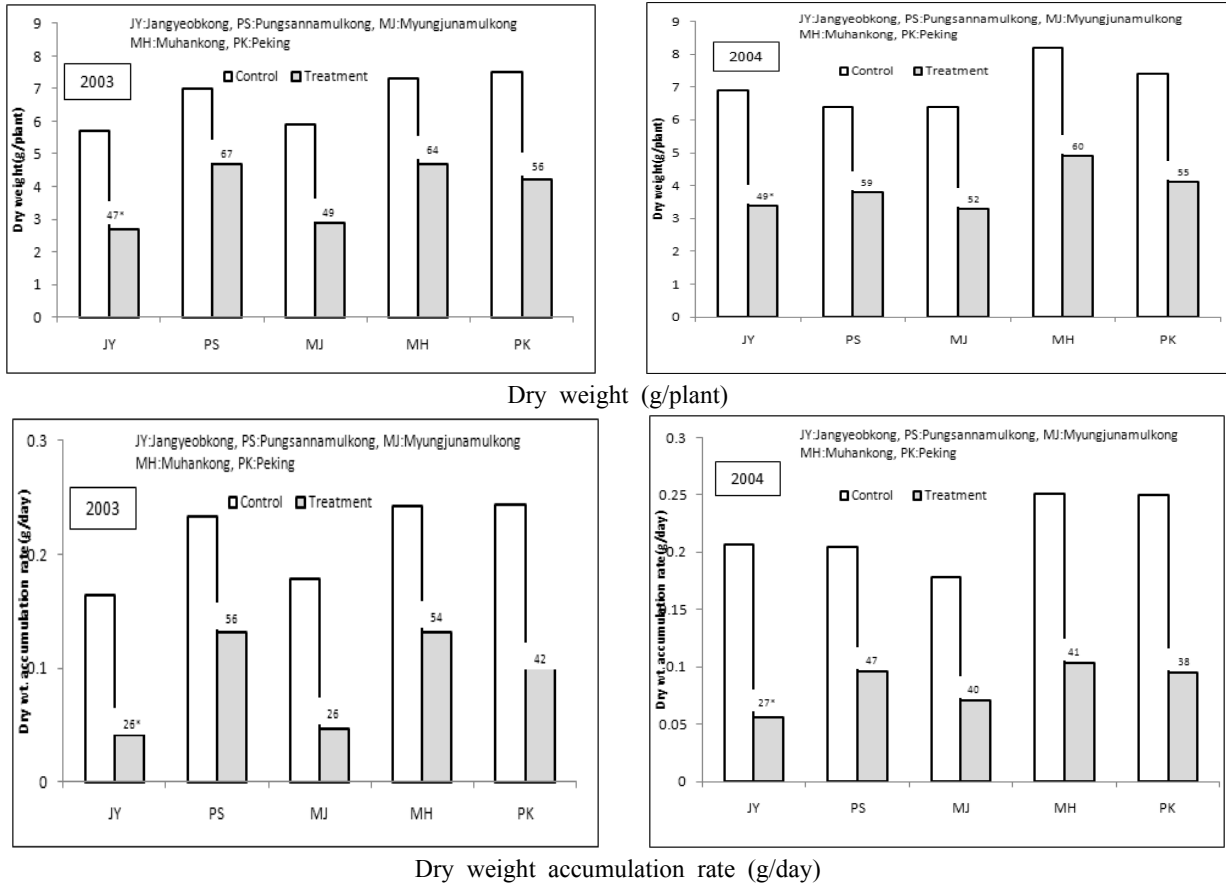


Fig. 1. Root dry weight and dry weight accumulation rate at 21 days after waterlogging for 10 days at V5 stage in 5 soybean varieties.

* : Waterlogging/Control × 100 (%)

Table 1. Analysis of variance for root dry weight at 21 days after waterlogging for 10 days at V5 stage in 5 soybean varieties.

Source	df	Mean squares	
		Root dry weight (g/plant)	Nodule dry weight (g/plant)
Year(Y)	1	0.3	0.038
Variety(V)	4	6.2**	0.444**
V × Y	4	1.4**	0.131**
Treatment(T)	1	133.2**	5.116**
T × Y	1	0.3	0.006
V × T	4	0.4	0.148**
V × T × Y	8	0.2	0.087**
Error	40	1.7	0.019

*, ** Significant at the 5 and 1% levels, respectively.

가량이 가장 적었다. Peking은 뿌리건물중의 일당 증가량이

과습구가 대조구의 42%로 중간정도였다. 2004년의 경우 뿌리건물중의 일당 증가량은 풍산나물콩이 과습구가 대조구의 47%였다. 명주나물콩, 무한콩 및 Peking은 과습구가 대조구의 38~41%였으며, 장엽콩은 과습구가 대조구의 27%로 뿌리건물중의 일당 증가량이 가장 적었다. 이러한 결과 콩의 주요 생육지표인 뿌리 건물중은 근권의 수분 즉 산소 조건과 밀접한 관계가 있다는 본 시험의 결과와 품종간 차이가 있다는 선행 연구결과(성, 1998)를 고려할 때 앞으로 증가하게 될 콩 논 재배시 안정생산을 위한 품종 선택 및 재배기술의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

Table 2는 2003년과 2004년에 V5 stage 과습처리 종료 21일 후의 근류 건물중이다. 2003년의 경우 모든 품종이 과습구에서 근류건물중이 유의하게 감소하였다. 풍산나물콩은 과습구의 근류건물중이 대조구의 83%로서, 장엽콩, 명주나물콩, 무한콩 및 Peking의 58~62%에 비하여 현저히 많았다. 2004년의 경우는 풍산나물콩을 제외하고 모든 품종이 과습처리에 의하여 근류건물중이 유의하게 감소하였

Table 2. Dry weight of nodules of 5 soybean varieties at 21 days after waterlogging for 10 days at V5 stage in 2003 and 2004.

Year	Variety	Dry wt. of nodules		
		Control(A)	Waterlogging(B)	B/A
		----- g/hill -----		%
2003	Jangyeobkong	2.02	1.18	58
	Pungsannumulkong	1.89	1.56	83
	Myungjunamulkong	1.52	0.89	59
	Muhankong	1.83	1.14	62
	Peking	1.41	0.88	62
	LSD _{0.05}	0.21		
2004	Jangyeobkong	1.72	1.03	60
	Pungsannumulkong	1.70	1.56	91
	Myungjunamulkong	1.74	0.83	48
	Muhankong	2.01	1.42	71
	Peking	1.65	1.16	70
	LSD _{0.05}	0.28		

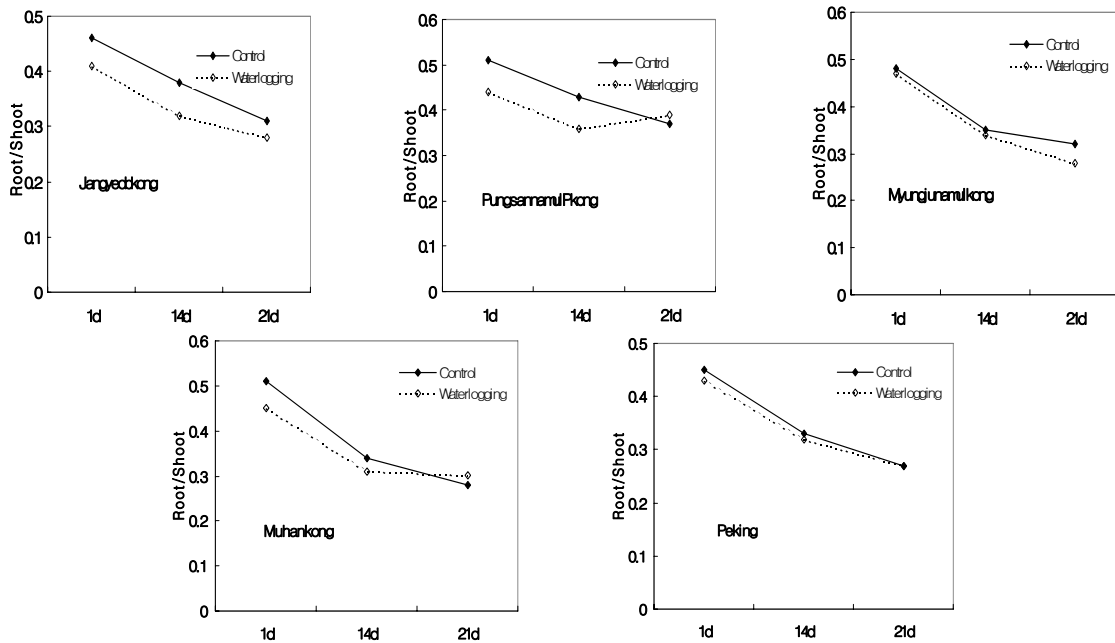


Fig. 2. Changes of Root/Shoot according to waterlogging for 10 days at V5 stage in 5 soybean varieties.
 † 1d, 14d, 21d : days after waterlogging

다. 풍산나물콩은 과습구의 근류건물중이 대조구의 91%로서 가장 감소가 적은 반면, 무한콩과 Peking은 70~71%로 비슷하였고, 장엽콩은 60%로 크게 감소하였고, 명주나물콩은 48%로 감소정도가 가장 컸다. 이러한 결과는 근류가 근권의 산소농도에 매우 민감하기 때문에 습해를 받으면 근류

의 활성이 현저히 떨어지며, 영양생장기에 과습처리 하면 개체당 근류중이 무처리의 50~57%에 불과하고, 과습처리 종료 후 품종간 회복력도 차이가 있다는 보고(Nathanson *et al.*, 1984)와 유사한 경향으로 콩 논 재배시 내습성 품종 선택 등에 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

지하부/ 지상부 비율

과습처리 후 지상부 건물중에 대한 지하부 건물중 비율의 경시적 변화는 Fig. 2와 같다. 대조구나 과습구 모두 지상부 건물중에 대한 지하부 건물중의 비율(R/S)은 시간이 경과할수록 감소하였다. 장엽콩은 과습처리 직후부터 과습처리 종료 11일 후 까지 대조구가 과습구에 비해 R/S가 0.04~0.06 정도 더 높았다. Peking은 과습처리 종료 11일 후 까지 대조구와 과습구의 R/S 차이가 거의 없이 같은 속도로 감소하였다. 명주나물콩은 과습처리 종료 4일 후까지는 대조구와 과습구의 R/S 차이가 거의 없었으나, 과습처리 종료 11일 후에는 대조구가 과습구에 비해 R/S가 0.04 정도 더 높았다. 풍산나물콩과 무한콩은 과습처리 종료 4일 후까지는 대조구가 과습구에 비해 R/S가 0.04~0.07 정도 더 높았으나, 과습처리 종료 11일 후에는 대조구는 R/S가 각각 0.37,

0.28였으나 과습구는 R/S가 각각 0.39, 0.30으로서, 대조구에 비해 과습구의 R/S가 더 높았다. 이는 풍산나물콩과 무한콩이 장엽콩과 명주나물콩에 비해 과습처리 종료 후 뿌리의 회복속도가 빠르고, 특히 Table 3에서와 같이 부정근(adventitious root)의 발생이 많았기 때문인 것으로 판단된다.

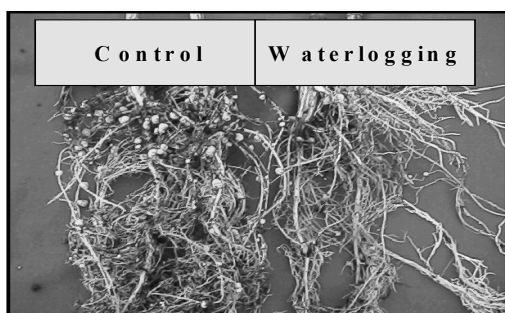
부정근의 발생

Table 3은 V5 stage 과습처리 7일째 그리고 과습처리 21일 후(처리 종료 11일 후)의 부정근 발생량이다. 과습처리 7일째 풍산나물콩과 Peking의 개체당 부정근 생체중은 3.7 g과 3.1 g으로서 전체 뿌리 생체중에 대한 부정근의 생체중 비율이 12~14%였고, 장엽콩, 명주나물콩 및 무한콩의 개체당 부정근 생체중은 1.3~2.3 g으로서 전체 뿌리 생체중에 대한 부정근의 생체중 비율이 6~8%였다. 과습처리 종료 11일

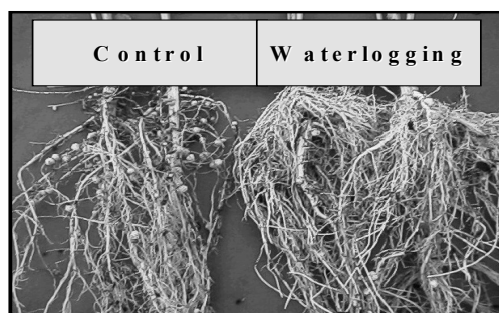
Table 3. Fresh weight of adventitious roots(A), total root(B) and A/B ratio in percentage at 7 and 21 days after waterlogging for 10 days at V5 stage in 5 soybean varieties.

Variety	DAW [†]	Fresh weight		A/B
		Adventitious root(A)	Total root(B)	
		----- g plant ⁻¹ -----	----- % -----	
Jangyeobkong	7	1.3±0.2	18.6±1.4	7±1
	21	3.8±0.5	25.3±1.8	15±2
Pungsannamulkong	7	3.7±0.4	26.4±1.9	14±2
	21	9.1±1.6	23.9±2.1	38±3
Myungjunamulkong	7	2.1±0.3	26.3±1.3	8±2
	21	4.1±0.5	29.3±1.4	14±2
Muhankong	7	2.3±0.3	38.3±1.7	6±2
	21	7.5±1.4	24.2±1.5	31±3
Peking	7	3.1±0.5	25.8±1.2	12±1
	21	4.5±0.7	25.0±0.9	18±2

[†] Days after waterlogging.



Jangyeobkong



Pungsannamulkong

Photo. 1. Root distribution at 21 days after waterlogging for 10 days at V5 stage in 2 soybean varieties.

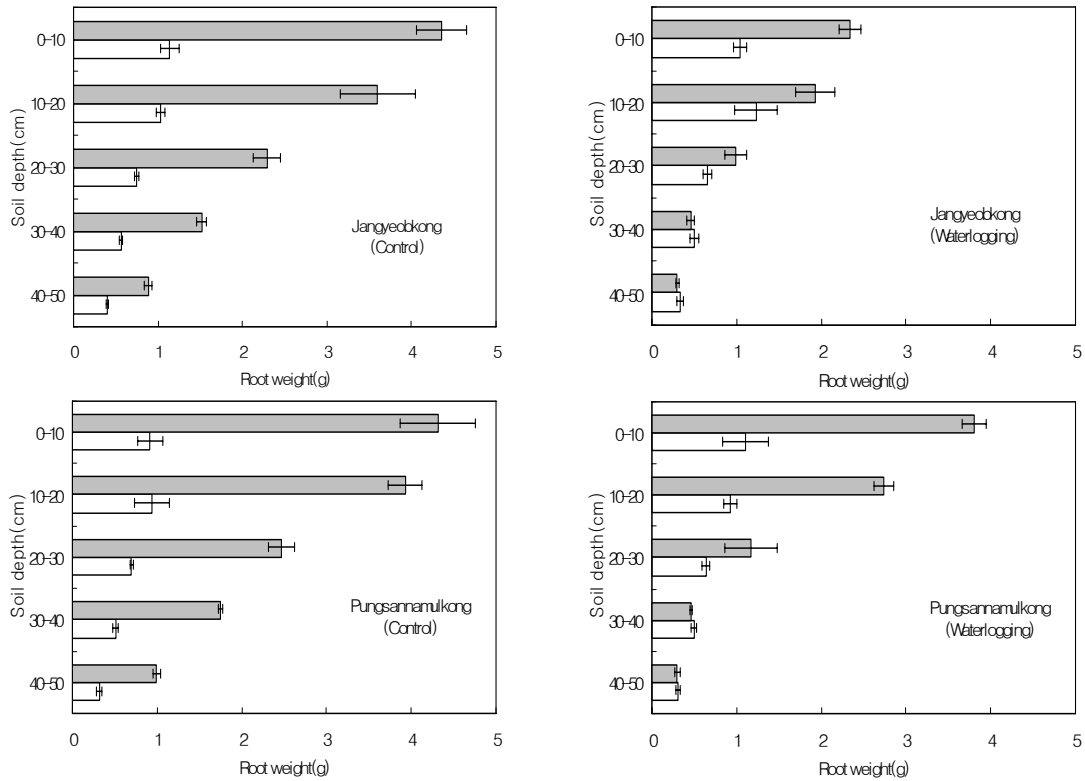


Fig. 3. Root distribution by soil depth at 0 and 21 days after waterlogging for 10 days at V5 stage in 2 soybean varieties.
 □ : 0 day after waterlogging ■ : 21 days after waterlogging

후 풍산나물콩과 무한콩의 개체당 부정근 생체중은 9.1 g과 7.5 g으로서 장엽콩과 명주나물콩의 3.8 g, 4.1 g에 비해 훨씬 많았고, Peking은 4.5 g으로 풍산나물콩과 무한콩보다는 적었으나 장엽콩과 명주나물콩보다는 많았다. 전체 뿌리 생체중에 대한 부정근의 생체중 비율도 부정근의 생체중과 비슷한 경향으로 장엽콩과 명주나물콩이 각각 15%와 14%로 적었고 풍산나물콩과 무한콩은 각각 38%와 31%로 많았으며, Peking은 18%로 중간이었다. 이러한 결과는 내습성이 강한 품종일수록 부정근 발생수가 많아 생육후기의 양수분 흡수능력이 증대된다는 보고(Drew *et al.*, 1979)와 본 실험의 결과가 일치하였다.

Fig. 3은 과습처리 종료 21일 후 장엽콩과 풍산나물콩의 토층별 뿌리 건물중을 비교한 것이다. 과습처리 종료 21일 후 장엽콩의 전체 뿌리 건물중은 과습구가 6.0 g으로 대조구의 47%였고, 풍산나물콩의 전체 뿌리 건물중은 과습구가 8.5 g으로 대조구의 63%로 풍산나물콩이 장엽콩에 비해 뿌리 건물중의 감소정도가 더 적었다. 과습처리 종료 21일 후 토심별 과습구의 뿌리 건물중은 토심 0~10 cm에서는 풍산나물콩과 장엽콩이 각각 3.8 g과 2.3 g으로 전체 뿌리건물중의 45%와 39%였다. 토심 10~20 cm에서의 과습구의

뿌리 건물중은 풍산나물콩과 장엽콩이 각각 2.74 g과 1.93 g으로 전체 뿌리건물중의 32%였다. 토심 20~30 cm에서의 과습구의 뿌리 건물중은 풍산나물콩과 장엽콩이 각각 1.17 g과 0.99 g으로 전체 뿌리건물중의 14%와 16%였다. 특히 토심 0~10 cm의 과습구의 뿌리건물중은 풍산나물콩이 장엽콩에 비해 많았는데, 이는 앞선 Table 3의 결과설명에서 언급된 것처럼, 풍산나물콩이 장엽콩에 비해 지표면 가까이에 부정근의 발생량이 많았기 때문이었다. 작토층이 깊은 미국의 북부지역의 경우 뿌리가 대체로 50~70 cm 사이에 분포하나(Bacanawmo & Harper, 1997), 작토층이 얇은 우리나라는 대부분이 25 cm 이내에 분포한다는 보고(권과 이, 1988)와 같이 전체 뿌리건물중 중에서 30 cm 이상 깊이의 뿌리건물중이 차지하는 비중은 극히 적었다.

적 요

본 시험은 기상여건상 상습적인 과습장해에 대비하여 내습성 콩 품종의 조기육성 및 습해 경감기술 개발을 위한 기초자료를 제공하고자 수행하였던 바, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 뿌리건물중은 풍산나물콩이 과습구가 대조구의 59~67%로 과습에 의한 감소정도가 가장 적었고, 장엽콩이 과습구가 대조구의 47~49%로 감소정도가 가장 컸다. 본엽4엽기(V5 stage) 과습처리후 21일간 뿌리건물중 일당증가량은 풍산나물콩이 과습구가 대조구의 47~56%로 회복력이 가장 컸고, 장엽콩이 과습구가 대조구의 26~27%로 회복력이 가장 적었다.

2. 근류건물중은 풍산나물콩이 과습구가 대조구의 83~91%로 과습에 의한 감소가 가장 적었으나, 명주나물콩은 과습구가 대조구의 48~66%로 감소정도가 가장 컸다.

3. 지상부 건물중에 대한 지하부 건물중의 비율(R/S)은 기간이 경과할수록 감소하였는데, 장엽콩은 과습처리 직후부터 과습처리 종료 11일 후 까지 대조구가 과습구에 비해 R/S가 0.04~0.06 정도 더 높았으며, 풍산나물콩은 과습처리 종료 4일 후 까지는 대조구가 과습구에 비해 R/S가 0.04 정도 더 높았으나, 과습처리 종료 11일 후에는 대조구는 R/S가 0.37였으나 과습구는 R/S가 0.39으로서, 대조구에 비해 과습구의 R/S가 더 높았다. 이는 과습처리 종료 후 뿌리의 회복속도가 빠르고, 부정근(adventitious root)의 발생이 많았기 때문인 것으로 나타났다.

4. 과습처리 종료 11일 후 전체 뿌리 생체중에 대한 부정근의 생체중 비율은 명주나물콩이 14%로 가장 낮았고, 풍산나물콩이 38%로 가장 높아 생육후기 양수분 흡수능력 증대에 유리한 것으로 나타났다.

- mechanism of nitrate inhibition of nitrogenase activity in soybean may involve asparagine and/or products of its metabolism. *Physiol. Plant.* 100:371-377.
2. Bennett, J. M. and S. L. Albrecht. 1984. Drought and flooding effects on N₂ fixation, water relations and diffusive resistance of soybean. *Agron. J.* 76:735-740.
 3. Drew, M. C., M. B. Jackson and S. Giffard. 1979. Ethylene promoted adventitious rooting and development of cortical air spaces(aerenchyma) in roots may be adaptive responses to flooding in *Zea mays* L. *Planta.* 147:83-88.
 4. 福井重郎. 1965. 土壤水分からみた大豆の生理生態學的 研究. 農林省農事試驗研究報告 第9號 別刷:1-69.
 5. James, F. D., C. Nicolas, F. Helene, B. Pascale and B. Pierre. 2004. Sensing and signalling during plant flooding. *Plant Physiol. and Biochem.* 42:273-282.
 6. Nathanson, K., R. J. Lawn, P. L. M. de Jabrun and D. E. Byth. 1984. Growth, nodulation and nitrogen accumulation by soybean in saturated soil culture. *Field Crops Res.* 8:73-92.
 7. Visser, E., J. D. Cohen, G. Barendse, C. Blom and L. Voesenek. 1996. An ethylene-mediated increase in sensitivity to auxin induces adventitious root formation in flooded *Rumex palustris* Sm. *Plant Physiol.* 112:1687-1692.
 8. Williamson, R. E. and G. J. Kriz. 1970. Response of agricultural crops of flooding, depth-of water table and soil gaseous composition. *Transaction of the ASAE.* 216-220.
 9. 권용용, 이홍석. 1988. 콩의 생리와 재배환경상의 문제점. 콩 심포지움. 작물시험장. p. 28-56.
 10. 권용용, 이민규. 1988. 콩의 영양생장기 및 개화기의 습해 조건에 대한 생리반응에 관한 연구. 농시논문집(농업산학협동집) 31:289-300.
 11. 성락춘. 1998. 내습성 콩 품종의 개발과 습해대책에 관한 연구. 농림부보고서.

인용문헌

1. Bacanamwo, M. and J. E. Harper. 1997. The feedback