한작지(Korean J. Crop Sci.), 56(4): 385~393(2011)

과습에 따른 콩 엽 질소농도 및 엽병의 ureide 함량 변화

이재은*† · 김홍식** · 권영업* · 정건호* · 김선림*

*농촌진흥청 국립식량과학원, **충북대학교 농업생명환경대학

Changes of Leaf Nitrogen and Petiole Ureide Content in Soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] under Waterlogging Condition

Jae-Eun Lee*†, Hong-Sig Kim**, Young-Up Kwon*, Gun-Ho Jung*, and Sun-Lim 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 Soybean is the most promising crop for substituting rice on the paddy field. Excessive water stress is a common limiting factor in soybean yield under paddy soil condition. This study was carried out to identify changes in leaf total nitrogen and petiole ureide content under excess water conditions for establishing a screening system related to waterlogging tolerance. Waterlogging treatment was conducted by maintaining the water level on the soil surface for 10 days at the early vegetative growth stage (V_5) and the flowering stage (R_2). Leaf total nitrogen content, SPAD value and ureide content in petiole decreased in all soybean varieties in response to waterlogging, but the degree of decrease was much lesser in Pungsannamulkong and Muhankong than in Jangyeobkong and Myungjunamulkong, at 21 days after waterlogging treatment. This result means that root and nodule recovery rates were much higher in Pungsannamulkong and Muhankong than in Jangyeobkong and Myungjunamulkong after waterlogging treatment. The ureide and leaf nitrogen content showed high positive correlation with SPAD value, regardless of waterlogged stages. In conclusion, leaf nitrogen content, ureide content in petiole and leaf greenness were identified as promising indicator for screening soybeans which are tolerant of excess water.

Keywords : soybean, waterlogging, nitrogen, ureide, leaf greenness

우리나라의 기후에서 콩 파종기인 5월중·하순~6월상·중순에는 가뭄이 심하고, 해마다 이르면 6월말 늦어도 7월 상순에서 시작되어 한 달 정도 지속되는 장마기간 동안 연강수량의 1/3 정도가 집중된다. 따라서 건기 이후의 장마는 건기동안 콩이 제대로 이용하지 못한 기비의 질소가 강우에 의해 용탈되어 질소영양면에서 악조건에 처하게 되고, 결과적으로 수량감소로 이어지게 된다(Kwon *et al*., 1988). 따라서 콩이 과습을 받았을 때 1% 요소 용액을 살포하면 강우로 용탈된 질산태 질소가 공급되어 수량 손실을 많이 줄일 수 있다(Troedson *et al*., 1989). 질소가 결핍되면 피층세포가 세포융화를 촉진하는 아세틸렌에 대한 감응도를 높임으로서 통기조직의 형성을 증가시킨다고 하였고(He *et al*., 1994), nitrate를 시용하면 혐기 조건에서 nitrate가 산소를 대체할 수 있는 전자수용체의 역할을 하기 때문에 내습성이 증가한다고 하였다(Vessey *et al*., 1988). 콩은 영양생장초기와 생식생장초기가 과습에 약하며, 배수가 불량한 토양에서 일당 3~5 cm의 강우는 작물생장률(CGR)과 수량을 36% 정도 감소시킨다. 시기적으로는 영양생장기보다 생식생장기에 피해가 더 크고 생식생장기에서는 후기보다는 초기의 피해가 더 큰데, 개화 후 2일 이상 과습하면 수량이 감소하기 시작하고, 4일 이상 과습하면 감소정도가 심하고, 8일간 과습이 지속되면 수량이 반감하는데, 수직배수가 불량한 식질토양에서 사양토보다 그 피해가 더 크다고 하였다(Griffin *et al*., 1988). 콩의 근류가 고정한 질소대사산물의 80% 이상은 allantoin이나 allantoic acid 같은 ureide 형태로 목질부(xylem)를 통해 지상부로 이동된다(Winkler *et al*., 1987). 콩이 한발 스트레스를 받으면 근류에 의해서 고정되어 지상부로 전류된 ureide가 종실로 전이되지 못하고 엽병에 축적되나, 과습을 받으면 근권의 산소부족으로 근류가 고사되어 엽병의

†Corresponding author: (Phone) +82-31-290-6743 (E-mail) soybean6010@korea.kr

<Received 15 October, 2011; Revised 29 November, 2011; Accepted 10 December, 2011>

ureide 함량은 90% 정도 감소하게 된다고 하였다(Mario *et al*., 1999). 따라서 엽병의 ureide 함량은 콩의 내한발성과 내습성을 판단할 수 있는 중요한 지표가 될 수 있다.

최근 쌀 생산조정정책 문제가 농업의 가장 큰 이슈인데, 콩은 대표적인 친환경작물로서 지력유지 및 논 토양적응성 측면에서 가장 유망한 벼 대체작물이다. 반면에 콩은 토양수분이나 일장조건 등 환경에 매우 민감한 작물이기도하다. 특히 논토양은 대부분 점질로서 수직배수가 잘되지 않기 때문에 논에서 콩 재배 시 습해가 수량을 좌우하는 가장 큰 요인이다. 그러나 콩의 습해에 대한 재배생리연구는 한발에 대한 연구에 비하여 매우 빈약한 실정이다. 따라서 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 연동비닐하우스(15×30 m)내 및 실외 시험포장에서 2003년과 2004년에 수행하였다.

연동비닐 하우스내 시험은 온도조절을 위해 천정과 양측면 개폐장치와 앞뒤 출입문 상단의 4곳에 환풍기를 설치하였다. 실험재료는 내습성 정도가 다른 것으로 보고된(Sung *et al*., 1998) 장엽콩, 풍산나물콩, 명주나물콩, 무한콩 및 Peking으로 하였다. 직경 20 cm 높이 70 cm의 플라스틱관을 이용해 만든 폿트에 흙, 모래, 피트머스 및 퇴비를 중량비율 3 : 3 : 2 : 2로 혼합한 상토를 채우고, 5월 27일에 폿트당 4립씩 파종하였으며, V_1 stage에 pot당 2개체를 남기고 솎아주었다. 콩은 개화기(R_2)가 습해에 가장 약하고 영양생장초기일수록 습해에 강하다는 연구결과(Choi *et al*., 1996)를 고려하여, 과습처리는 V_5 stage와 R_2 stage에 각각 10일간 지표위 2 cm까지 침수처리로 과습을 유발하였으며, 대조구는 지하수위를 50 cm(pF 2.0)로 유지하였다. 시험구 배치는 2요인 시험 완전임의배치 3반복으로 하였다.

Ureide 함량 분석은 최상위 3번째 마디에서 채취한 엽병을 80℃에서 건조한 후 1~2 mm로 분쇄한 시료 30~35 mg을 microcentrifuge tube에 넣고, 0.2 M NaOH 1 ㎖를 넣었다. Boiling water bath에 30분 끓인 후 9180×g에서 10분간 원심분리 하였다. 표준용액은 2 ㎖를 시험관에 옮기고, 시료는 2 ㎖를 상징액에서 취해 시험관에 옮기고 증류수를 넣어 5 ㎖를 만들었다. 0.5 N NaOH l ㎖를 넣고 1분간 끓인 다음, 0.65 N HCL 1 ㎖와 0.33% phenyl hydrochloride 1 ㎖를 넣고, 시험관을 vortex로 충분히 교반한 후 water bath에서 2분간 끓였다. Ice bath에서 10분간 방치한 후 HCL 4 ㎖를 넣고 -10℃로 10분간 냉각시킨 다음, potassium ferricyanide 1 ㎖를 넣고 시험관을 vortex로 교반하였다. 15분간 발색시킨 후 30분 이내에 UV-spectrophotometer(Cary 50, VARIAN Co.)로 520 nm에서 흡광도를 측정하였다.

전질소함량은 Kjeldahl법으로 분석하였다. 시료 1 g과 증류수 1 ㎖를 켈달 플라스크에 넣어 하루 동안 정치해 두었다. 분해제(K_2SO_4 : $CuSO_4$ = 9 : 1)와 황산 10 ㎖를 넣고

Table 1. Description of soybean growth stages*.

Stage no.	Abbreviated stage title	Description
VE	Emergence	Cotyledons above the soil surface
VC	Cotyledon	Unifoliolate leaves unrolled sufficiently so the edges are not touching
V1	First-node	Fully developed leaves at unifoliolate nodes
V5	Fifth-node	Five nodes on the main stem with fully developed leaves beginning with the unifoliolate nodes
R1	Beginning bloom	One open flower at any node on the main stem
R2	Full bloom	Open flower at one of the two uppermost nodes on the main stem with a fully developed leaf
R5	Beginning seed	Seed 3 mm (1/8 inch) long in a pod at one of the four uppermost nodes on the main stem with a fully developed leaf
R8	Full maturity	Ninety-five percent of the pods that have reached their mature pod color. Five to ten days of drying weather are required after R8 before the soybeans have less than 15% moisture

* Source : Fehr and Caviness (1977)

분해기에서 100℃로 1시간 정도 놓아둔 후, 350℃에서 2～3시간 분해시켰다. No. 6 여과지로 여과한 후 여과액 20 ㎖와 증류수 80 ㎖를 둥근플라스크에 넣고 10M NaOH 약 7 ㎖를 첨가하였다. 삼각플라스크에 지시약 + Boric acid 10 ㎖를 넣었다. 콘덴서 하부의 팁이 삼각플라스크에 잠기도록 두고, 삼각플라스크에 75 ㎖가 찰 때 까지 가열한 후 0.01N H_2SO_4로 적정하였다. 잎의 SPAD값 측정은 오전 10시～12시에 상위 3번째 마디의 정단엽을 SPAD 501(Minolta Co.)로 개체당 5반복 측정하였다. 잎의 녹색도는 대조구 SPAD값에 대한 과습구 SPAD값의 백분율로 나타내었다.

포장의 수량반응 구명시험은 실험재료, 과습처리시기와 기간은 연동하우스내 시험과 동일하였다. 품종들은 생육시기의 차이가 있으므로, 정확한 생육단계(표 1)에 과습처리를 하기 위해 시험구는 5×5 m의 크기로 건축용 블록으로 둑을 쌓았고, 0.05 mm 비닐을 2겹으로 둘렀다. 시험구 사이에는 5×5 m 넓이의 buffer zone을 두어 과습처리시 인접한 시험구에 영향을 미치지 않도록 하였다. 재식거리는 휴폭 60 cm × 주간거리 15 cm로 하였으며, 시험구당 8열이 재식되었다. 재식본수는 1주 2개체로 하여 2003년에는 5월 26일 그리고 2004년에는 5월 28일에 파종하였다. 시비량은 10a당 N-P_2O_5-K_2O를 성분량으로 3-3-3.4 kg을 기비로 시비하였다. 시험구배치는 과습처리 시기별로 완전임의배치 3반복으로 하였다. 수량구성요소 측정을 위해 시험구당 10주 20개체를 채취하였고, 수량조사를 위해서 3 m×3열(5.4 m^2) 넓이로 시료를 채취하였다. 통계분석은 SAS PC Package(Version 8.1)를 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

엽 질소농도

엽 질소농도는 2003년과 2004년 모두 대조구에 비해 과습구가 모두 유의적으로 감소하였다(표 2). 2003년의 경우 풍산나물콩, 명주나물콩과 무한콩의 엽질소농도는 과습처리로 25%와 29% 감소하였으나, 장엽콩과 Peking은 31%와 33% 감소하여 그 정도가 더 컸다. 2004년의 경우에는 풍산나물콩, 무한콩 및 Peking의 엽질소농도가 과습처리로 23～27% 감소한 반면 명주나물콩은 33% 감소하였고, 장엽콩의 엽질소농도가 41%로 가장 많이 감소하였다. 2년간 대체로 풍산나물콩과 무한콩의 엽질소농도 감소 정도가 적었다. 본 실험에서는 R_2 stage 과습처리 시 엽질소농도 변화를 분석하지 못했으나, R_2 stage 과습처리 시 엽색도 및 엽병의 ureide 함량 변화 등을 고려할 때, V_5 stage 과습처리 시와 경향은 거의 비슷할 것으로 판단되나 보다 정확한 분석을 위해서는 추가적인 실험이 필요할 것으로 사료된다. 근류는 근권의

Table 2. Total N contents in leaf of 5 soybean varieties at 21 days after waterlogging for 10 days at V_5 stage in 2003 and 2004.

Year	Variety	Total N contents in leaf		
		Control (A)	Waterlogging (B)	B/A (%)
		- g N / g dw -		
2003	Jangyeobkong	0.15±0.02	0.10±0.02	66.7
	Pungsannumulkong	0.16±0.02	0.12±0.01	75.0
	Myungjunamulkong	0.15±0.02	0.11±0.00	73.3
	Muhankong	0.14±0.01	0.10±0.01	71.4
	Peking	0.16±0.02	0.11±0.01	68.8
	Mean	0.15	0.11	
	$LSD_{0.05}$	0.03		
2004	Jangyeobkong	0.17±0.02	0.10±0.01	58.8
	Pungsannumulkong	0.17±0.02	0.13±0.01	76.5
	Myungjunamulkong	0.15±0.01	0.10±0.01	66.7
	Muhankong	0.16±0.01	0.12±0.01	75.0
	Peking	0.15±0.02	0.11±0.01	73.3
	Mean	0.16	0.11	
	$LSD_{0.05}$	0.03		

산소에 민감하여(Nathanson *et al*., 1984) 내습성이 강한 풍산나물콩이 습해처리 후 근류 및 뿌리의 회복력도 빠르다는 연구보고(Lee *et al*., 2010)를 고려할 때, 과습처리 후 풍산나물콩과 무한콩의 뿌리와 근류의 회복력이 빨라 질소흡수가 상대적으로 많아졌기 때문에 엽질소농도도 높은 것으로 사료된다. 杉本秀樹 등(1989)은 습해가 식물체의 양분흡수에 미치는 영향은 생육단계와 양분요소에 따라 다른데, 습해에 의해 가장 흡수가 저해되는 성분은 질소라고 하였다. 따라서 엽질소농도는 콩의 습해에 대한 내성정도를 구명할 수 있는 중요한 생리적 지표가 될 수 있을 것으로 판단된다.

SPAD 값

SPAD 값은 V_5 stage 과습처리 종료 직후와 종료 21일 후에 처리간에 차이가 있었다(표 3). V_5 stage 과습처리 직후에는 풍산나물콩과 명주나물콩의 SPAD 값이 과습구가 대조구의 82%와 93%로 감소정도가 적었으나, 과습처리 종료 21일 후에는 무한콩이 과습구가 대조구의 74%로 다른 품종들에 비하여 SPAD 값의 감소정도가 가장 적었다. R_2 stage 과습처리 종료 직후에는 풍산나물콩의 SPAD 값이 과습구가 대조구의 88%로 감소정도가 가장 적었으며, 다음으로 장엽콩, 무한콩 및 Peking이 과습구가 대조구의 61～66%로 비슷하였고 명주나물콩이 44%로 SPAD 값 감소정도가 가장 컸다. 과습처리 종료 21일 후에는 풍산나물콩과 무한콩의 SPAD 값이 과습구가 대조구의 70%와 73%로 감소 정도가 다른 품종들에 비하여 적었다. V_5 stage 과습처리 2주 후에는 엽록소함량이 대조구 수준으로 회복된다는 보고(Kwon *et al*., 1988)가 있으나, 본 실험에서는 과습처리 종료 21일 후에 과습구의 SPAD 값이 대조구보다는 낮았으나, 풍산나물콩과 무한콩은 SPAD 값의 회복정도가 높았다.

그림 1은 대조구 SPAD 값에 대한 과습구 SPAD 값의 백분율로 잎의 녹색도를 나타낸 것이다. V_5 stage 과습처리 3일까지는 어느 품종이나 과습구의 녹색도가 90～97%로 잎의 황화현상이 나타나지 않았다. 과습처리 종료 6일 후에는 풍산나물콩의 녹색도가 59%로 가장 적게 감소하였고, 명주나물콩과 무한콩은 녹색도가 44%와 47%였으며, 장엽콩과 Peking은 녹색도가 26%와 27%로 잎의 황화가 가장 컸다. 과습처리 종료 21일 후에는 무한콩의 녹색도가 74%로 가장 많이 회복되었으며 풍산나물콩이 66%였고, 장엽콩, 명주나물콩 및 Peking은 28～33%로 녹색도가 회복되지 못했다. R_2 stage 과습처리 5일까지는 모든 품종의 과습구의 녹색도가 95～100%로 잎의 황화현상이 나타나지 않았다. 과습처리 종료 직후에는 풍산나물콩의 녹색도가 88%로 잎의

Table 3. SPAD value of 5 soybean varieties at 0 DAW and 21 DAW after waterlogging for 10 days at V_5 and R_2 stage in 2004.

Water-logging stage	Variety	0 DAW†			21 DAW		
		Control (A)	Water-logging (B)	B/A (%)	Conrol (A)	Water-logging (B)	B/A (%)
V_5	Jangyeobkong	21.9	14.7	67.1	22.4	6.3	28.2
	Pungsannamulkong	23.1	21.5	93.1	22.4	14.7	65.6
	Myungjunamulkong	18.6	15.2	81.7	20.5	6.3	30.7
	Muhankong	20.8	14.6	70.2	21.7	16.1	74.2
	Peking	20.6	15.2	73.8	19.9	6.6	33.2
	Mean	21.0	16.2		21.4	10.0	
	$LSD_{0.05}$	1.18			2.14		
R_2	Jangyeobkong	22.4	14.6	65.2	21.2	6.0	28.3
	Pungsannamulkong	22.4	19.7	87.9	22.6	15.9	70.4
	Myungjunamulkong	20.5	9.1	44.4	20.4	3.9	19.1
	Muhankong	21.7	14.3	65.9	21.2	15.5	73.1
	Peking	19.9	12.2	61.3	21.4	8.7	40.7
	Mean	21.4	14.0		21.4	10.0	
	$LSD_{0.05}$	2.05			3.14		

† DAW : Numbers of days after waterlogging

황화가 가장 적었고, 장엽콩, 무한콩 및 Peking은 61~66% 였는데, 명주나물콩은 녹색도가 44%로 가장 많이 황화되었다. 과습처리 종료 21일 후에는 풍산나물콩과 무한콩의 녹색도가 70%와 73%였고, 장엽콩, 명주나물콩 및 Peking은 과습처리 종료 21일 후까지도 녹색도가 회복되지 못했다.

Ureide 함량

표 4는 V_5 stage 과습처리 종료 21일후에 엽병의 ureide 함량을 나타낸 것이다. 2003년과 2004년 모두 과습처리로 ureide 함량이 유의적으로 감소하였다. 2003년에는 ureide 함량이 과습처리로 풍산나물콩과 무한콩은 38%와 48% 감소한 반면, Peking은 16% 감소하여 그 정도가 가장 적었고 장엽콩과 명주나물콩은 58%와 61% 감소하여 그 정도가 가장 컸다. 2004년에는 ureide 함량이 풍산나물콩과 Peking은 과습처리로 37% 감소하여 그 정도가 가장 적었고, 명주나물콩과 무한콩은 50%와 60% 감소하였으며, 장엽콩은 80%

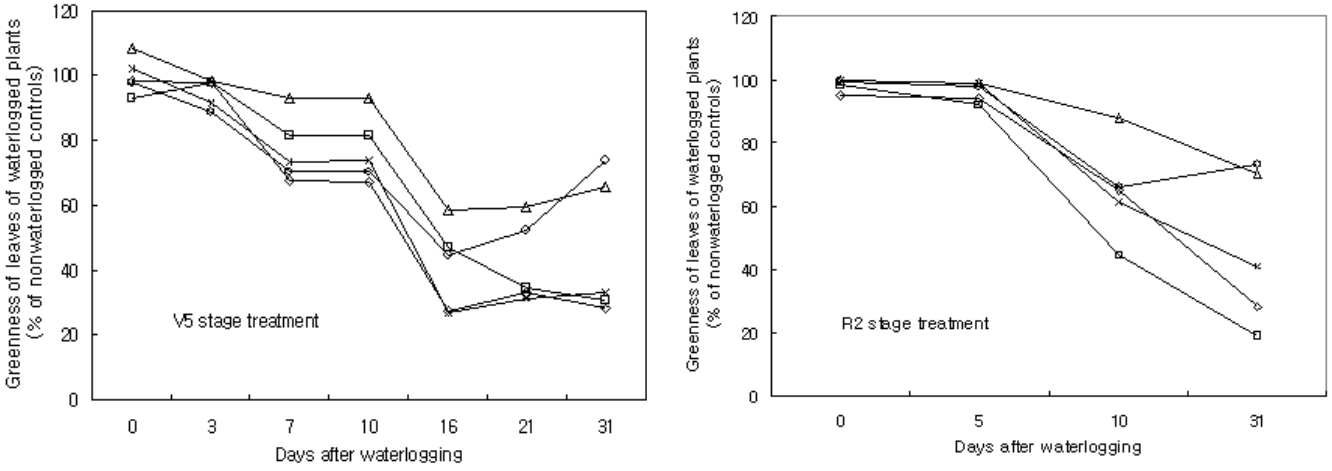

Fig. 1. Changes of greenness of leaves according to days after waterlogging at V_5 and R_2 stage in 5 soybean varieties.
◇ : Jangyeobkong △ : Pungsannamulkong □ : Myungjunamulkong ○ : Muhankong × : Peking

Table 4. Ureide contents in petiole of 5 soybean varieties at 21 days after waterlogging for 10 days at V_5 stage in 2003 and 2004.

Year	Variety	Ureide contents in petiole		
		Control (A)	Waterlogging (B)	B/A (%)
		--- mM/g dw ---		
2003	Jangyeobkong	5.7±0.42	2.4±0.14	42.1
	Pungsannumulkong	3.4±0.12	2.1±0.17	61.8
	Myungjunamulkong	5.1±0.64	2.0±0.13	39.2
	Muhankong	5.4±0.25	2.8±0.12	51.9
	Peking	3.1±0.34	2.6±0.27	83.9
	Mean	4.5±0.28	2.4±0.16	
	$LSD_{0.05}$	1.25		
2004	Jangyeobkong	6.9±0.68	1.4±0.22	20.3
	Pungsannumulkong	4.6±0.42	2.9±0.18	63.0
	Myungjunamulkong	3.5±0.21	1.4±0.17	40.0
	Muhankong	4.8±0.44	2.4±0.21	50.0
	Peking	1.9±0.23	1.2±0.19	63.2
	Mean	4.3±0.31	1.9±0.19	
	$LSD_{0.05}$	1.03		

감소하여 그 정도가 가장 컸다.

표 5의 R_2 stage 과습처리도 V_5 stage 과습처리와 같은 경향이었다. 2003년과 2004년 모두 과습처리로 ureide 함량이 51%와 64% 감소하였다. 2003년에는 ureide 함량이 과습처리로 풍산나물콩과 무한콩은 53%와 54% 감소하여 그 정도가 가장 적었고, Peking은 61% 감소하였으며 장엽콩과 명주나물콩은 70%와 76% 감소하여 그 정도가 가장 컸다. 2004년에도 같은 경향으로, 풍산나물콩은 ureide 함량이 과습처리로 35% 감소하여 그 정도가 가장 적었으며 장엽콩, 무한콩 및 Peking은 48%와 57% 감소하였고, 명주나물콩은 60% 감소하여 그 정도가 가장 컸다. 이러한 결과는 생물학적 질소고정을 하는 두과작물은 nitrate의 대부분이 allantoin이나 allantoic acid 같은 ureide 형태로 xylem을 통해 지상부로 이동되며, 습해를 받으면 xylem sap 내의 ureide 함량이 90% 정도 감소한다는 보고(Mario *et al*., 1999)와 같은 경향이었다. 근류가 근권의 산소농도에 매우 민감하기 때문에 습해를 받으면 근류의 활성이 현저히 떨어지며(Nathanson *et al*., 1984) 과습처리하면 내습성 품종인 풍산나물콩은 근류건물

Table 5. Ureide contents in petiole of 5 soybean varieties at 21 days after waterlogging for 10 days at R_2 stage in 2003 and 2004.

Year	Variety	Ureide contents in petiole		
		Control (A)	Waterlogging (B)	B/A (%)
		--- mM/g dw ---		
2003	Jangyeobkong	4.6±0.38	1.4±0.14	30.4
	Pungsannumulkong	4.1±0.29	1.9±0.25	46.3
	Myungjunamulkong	5.4±0.54	1.3±0.18	24.1
	Muhankong	3.8±0.41	1.8±0.25	47.4
	Peking	5.4±0.21	2.1±0.25	38.9
	Mean	4.7±0.34	1.7±0.17	
	$LSD_{0.05}$	1.65		
2004	Jangyeobkong	5.8±0.57	2.6±0.16	44.8
	Pungsannumulkong	5.1±0.46	3.3±0.27	64.7
	Myungjunamulkong	5.2±0.24	2.1±0.19	40.4
	Muhankong	4.6±0.32	2.4±0.28	52.2
	Peking	4.6±0.37	2.0±0.22	43.5
	Mean	5.1±0.36	2.5±0.21	
	$LSD_{0.05}$	1.32		

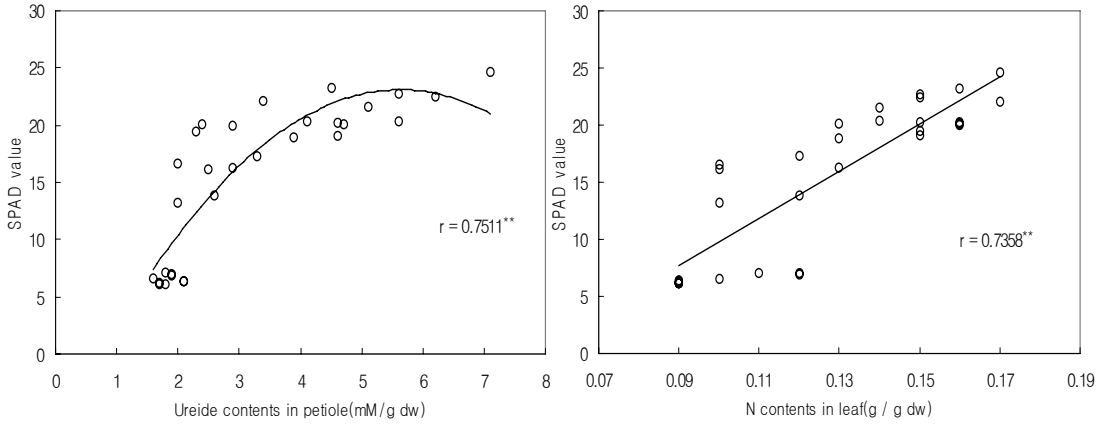

Fig. 2. Relationship between SPAD value and ureide contents in petiole (left) and N contents in leaf (right) after waterlogging for 10 days at V_5 stage in 5 soybean varieties.

중이 대조구의 91%, 습해에 약한 명주나물콩은 48% 정도 감소한다는 연구 보고(Lee *et al*., 2010)를 고려할 때, ureide 함량은 근류의 활성에 직접적인 영향을 받으므로 과습처리 후 근류의 회복력이 높은 풍산나물콩과 무한콩이 장엽콩, 명주나물콩 및 Peking에 비해 엽병의 ureide 함량의 감소가 더 적었던 것으로 사료된다.

그림 2는 엽병의 ureide 함량, 엽질소농도 및 SPAD 값 간의 관계를 나타낸 것이다. ureide 함량 3 mmol/g 까지는 SPAD 값과 직선적인 관계가 있으나 ureide 함량 3 mmol/g 이상에서는 SPAD 값의 차이가 구분되지 않을 것으로 추정된다. 엽질소농도와 SPAD 값 간에는 높은 정의 상관이 있었다. 근권의 과습에 의한 산소부족으로 뿌리와 근류의 활력이 저하되면 지상부로의 질소공급이 부족해지고, 이와 높은 정의 상관이 있는 엽록소함량 또한 감소되며, 엽록소함량과 광합성율은 높은 정의 상관이 있다는 연구결과(Matthews *et al*., 1984; Bennett *et al*., 1987)를 근거로 할 때, 식물체내 물질생산의 가장 기초적이고 중요한 대사과정인 광합성이 저해되어 결과적으로 생육이 저해되고 수량감소로 이어지게 되는 것으로 사료된다.

표 6은 2003년에 품종별 과습처리에 따른 주요 수량관련 형질과 수량반응의 차이를 나타낸 것이다. 어느 품종이나 개체당 협수, 개체당 입수 및 수량이 과습구에서 감소하였으며, V_5 stage 보다는 R_2 stage의 과습처리에서 더 크게 감소하였다. V_5 stage 과습처리시 장엽콩과 명주나물콩의 수량이 18%와 19% 감수한 반면 풍산나물콩, 무한콩 및 Peking은 5～9% 감수하여 그 정도가 더 적었다. R_2 stage 과습처리시에도 장엽콩과 명주나물콩은 22%와 29% 감수한 반면 풍산나물콩, 무한콩 및 Peking은 12～19% 감수하여 그 정도가 더 적었다. 2004년에도 V_5 stage보다는 R_2 stage의 과습처리에서 수량감소가 더 컸으며, V_5 stage 및 R_2 stage 과습처리 모두 풍산나물콩과 무한콩의 수량감소가 다른 품종들에 비해 더 적었다(표 7). 이는 영양생장기 보다는 생식생장기에 습해를 받으면 피해가 더 크며, 피해정도는 품종간에 차이가 있다는 보고(Belford *et al*., 1980; Choi *et al*., 1996; Doss *et al*., 1974)와 같은 경향이었다. 이상의 결과로 하우스내 폿트실험에서 습해에 강한 것으로 판단되는 품종들은, 포장에서도 내습성이 강하여 감수가 적게 되는 내습성 품종으로 인정할 수 있는 것으로 판단되었다.

표 8은 과습처리 시기와 수량관련 형질과 생리적 형질들과의 관계를 분석한 결과이다. V_5 stage 과습처리 시, 개체당 협수와 수량은 엽질소농도, SPAD값 및 엽병의 ureide 함량과 정의 상관이 있었다. R_2 stage 과습처리 시 같은 경향을 보였으며 특히 SPAD 값은 수량과 고도로 유의한 상관을 보였다.

Table 6. Yields and yield components of 5 soybean varieties influenced by waterlogging stages in 2003.

Variety	Treatment stage	No. of pods/plant	No. of seeds/plant	100 seeds weight	Yield (kg/10a)	Yield Index
Jangyeobkong	V_5 stage	16.9b[§]	32.1b	26.4a	177b	82
	R_2 stage	15.4c	27.7c	26.9a	154c	71
	Control	21.2a	44.5a	27.1a	217a	100
Pungsannamulkong	V_5 stage	39.6b	78.6b	11.7a	224b	95
	R_2 stage	35.8c	64.4c	11.9a	201c	86
	Control	45.4a	86.3a	12.0a	235a	100
Myungjunamulkong	V_5 stage	38.6ab	65.6b	11.4a	205b	81
	R_2 stage	31.2b	53.0c	12.0a	198b	78
	Control	41.4a	78.7a	12.0a	253a	100
Muhankong	V_5 stage	30.8b	63.6b	19.2a	229b	91
	R_2 stage	29.8b	57.6c	19.8a	203c	81
	Control	35.2a	71.4a	18.6a	251a	100
Peking	V_5 stage	40.8b	73.4b	7.6a	226b	91
	R_2 stage	35.9c	64.1c	8.4a	218c	88
	Control	45.3a	86.1a	8.2a	248a	100

[§]the same letters in a column are not significantly different at $P<0.05$ by duncan multiple range test

Table 7. Yield and yield components of 5 soybean varieties influenced by waterlogging stages in 2004.

Variety	Treatment stage	No. of pods/plant	No. of seeds/plant	100 seeds weight	Yield (kg/10a)	Yield Index
Jangyeobkong	V_5 stage	17.4b	35.0b	27.3a	211b	83
	R_2 stage	14.8c	26.2c	27.3a	182c	72
	Control	22.1a	43.4a	27.1a	254a	100
Pungsannamulkong	V_5 stage	42.1b	80.1b	13.0a	285b	93
	R_2 stage	39.2b	73.1c	12.5a	265c	87
	Control	45.4a	86.3a	12.0a	306a	100
Myungjunamulkong	V_5 stage	37.4a	69.6b	12.3a	240b	84
	R_2 stage	30.6b	57.2c	12.6a	196c	68
	Control	40.2a	78.4a	12.4a	287a	100
Muhankong	V_5 stage	28.6b	56.6b	21.7a	217b	90
	R_2 stage	27.5b	57.1b	21.9a	224b	93
	Control	31.8a	62.9a	21.7a	241a	100
Peking	V_5 stage	36.7ab	72.0b	10.6a	224b	87
	R_2 stage	32.2b	66.7c	11.0a	209c	82
	Control	40.5a	81.8a	11.2a	256a	100

[§]the same letters in a column are not significantly different at $P<0.05$ by duncan multiple range test

Table 8. Correlation coefficients between physiological characters and yield influenced by two waterlogging stages in 5 soybean varieties.

Waterlogging stage	Characters	No. of pods/plants	100 seeds weight	Yield
V_5 stage	Leaf nitrogen content	0.63*	0.07	0.61*
	SPAD value	0.61*	0.25	0.64*
	Ureide content in petiole	0.74**	0.31	0.77**
R_2 stage	SPAD value	0.62*	-0.61*	0.74**
	Ureide content in petiole	0.62*	-0.51	0.61*

이러한 결과로 보아 개체당 협수 및 수량과 유의한 상관이 있는 엽질소농도, SPAD 값 및 엽병의 ureide 함량은 내습성 콩 품종을 선발하는데 유용한 검정지표로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

적 요

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

1. 엽 질소농도는 2003년과 204년 모두 대조구에 비해 과습구가 유의적으로 감소하였는데, 그 감소정도는 장엽콩이 가장 컸고 풍산나물콩과 무한콩이 적었다. 이는 과습처리후 풍산나물콩과 무한콩의 뿌리와 근류의 회복력이 빨라 질소흡수가 상대적으로 많아졌기 때문인 것으로 판단됨.
2. 대조구 SPAD 값에 대한 과습구 SPAD 값의 백분율로 나타낸 잎의 녹색도는 V_5와 R_2 stage 과습처리 시 모두 과습처리 종료 21일 후에는 풍산나물콩과 무한콩의 녹색도가 66~74%로 회복력이 높았으나, 장엽콩, 명주나물콩 및 Peking은 40% 이하로 회복되지 못했다.
3. 엽병의 ureide 함량은 2003년과 2004년 모두 처리시기에 상관없이 대조구에 비해 47~64% 정도 감소하였는데, 그 감소정도는 풍산나물콩과 무한콩이 적었고 장

엽콩, 명주나물콩 및 Peking이 컸다. 이는 ureide 함량은 근류의 활성에 직접적인 영향을 받으므로 과습처리 후 근류의 회복력과 깊은 상관이 있는 것으로 사료됨.

4. ureide 함량과 SPAD 값과의 관계는 ureide 함량 3 mmol/g 까지는 SPAD 값과 직선적인 관계가 있으나 ureide 함량 3 mmol/g 이상에서는 SPAD 값의 차이가 구분되지 않을 것으로 추정된다. 엽질소농도와 SPAD 값 간에는 높은 정의 상관이 있었다.
5. 포장시험에서의 수량관련 형질 및 수량은 품종에 상관없이 V_5 stage보다는 R_2 stage의 과습처리에서 수량감소가 더 컸으며, 품종별로는 과습처리 시 풍산나물콩과 무한콩이 수량감소가 적어 습해에 강하였다.
6. 과습처리 시기와 수량관련 형질과 생리적 형질들과의 관계를 분석한 결과, V_5 stage 과습처리시에는 개체당 협수와 수량은 엽질소농도, SPAD값 및 엽병의 ureide 함량과 정의 상관이 있었다. R_2 stage 과습처리 시 같은 경향을 보였으며 특히 SPAD 값은 수량과 고도로 유의한 상관을 보였다
7. 결론적으로 습해처리 시 엽질소농도, 엽병의 ureide 및 엽색도의 변화는 내습성 콩 품종을 선발하는데 객관적인 지표가 될 수 있는 것으로 판단됨.

인용문헌

권용웅, 이민규. 1988. 콩의 영양생장기 및 개화기의 습해조건에 대한 생리반응에 관한 연구. 농시논문집(농업산학협동집) 31 : 89-300.

성락춘. 1998. 내습성 콩 품종의 개발과 습해대책에 관한 연구. 농림부보고서.

이재은, 김홍식, 권영업, 정건호, 이춘기, 윤홍태, 김정곤. 2010. 과습에 따른 콩 지하부 생육반응. 한국작물학회지. 55(1) : 1-7.

Belford, R. K., R. Q. Cannell, R. J. Thomson and C. W. Dennis. 1980. Effects of waterlogging at different stages of development on the growth and yield of peas. J. Sci. Food Agric. 31 : 857-869.

Bennett, J. M. and S. L. Albrecht. 1984. Drought and flooding effects on N_2 fixation, water relations and diffusive resistance of soybean. Agron. J. 76 : 735-740.

Choi, K. J., H. S. Kim, S. D. Kim and E. H. Hong. 1996. Dry matter and grain yield production of soybean cultivars as affected by excessive water stress at vegetative growth stage and flowering stage. RDA. J. Agri. Sci. 38(2) : 117-122.

Doss, B. D., R. W. Pearson and H. T. Rogers. 1974. Effect of soil water stress at various growth stages on soybean yield. Agron. J. 66 : 297-299.

Fehr, W. R. and C. E. Caviness. 1977. Stages of soybean development. Iowa Agric. Exp. Stn. Spec. Rep. 80.

Griffin, J. L. and A. M. Saxton. 1988. Response of solid-seeded soybean to flood irrigation. II. Flood duration. Agron. J. 80 : 885-888.

He, C. J., M. C. Drew and P. W. Morgan. 1994. Induction of enzymes associated with lysigenous aerenchyma formation in roots of Zea mays during hypoxia or nitrogen starvation. Plant Physiol. 105 : 861-865.

Mario, Puiatti and Ladaslav Sodek. 1999. Waterlogging affects nitrogen transport in xylem of soybean. Plant Physiol., 37(10), 767-773.

Matthews, M. A. and J. S. Boyer. 1984. Acclimation of photosynthesis to low water potentials. Plant Physiol. 74 : 161-166.

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.

Troedson, R. J., R. J. Lawn, D. E. Byth and G. L. Wilson 1989b. Response of field-grown soybean to saturated soil culture. II. Effect of treatments to alter photosynthesis and leaf nitrogen supply. Field Crops Res. 21 : 189-201.

杉本秀樹, 佐藤 亨, 西原定照, 成松克史. 1989. 水田轉換におけるダイズの過濕障害. 日作紀 58(4) : 605-610.

Vessey, K. J., K. B. Walsh and D. B. Layzell. 1988. Oxygen limitation of N_2 fixation in stem-girdled and nitrate-treated soybean. Plant Physiol. 73 : 113-121.

Winkler, R. D., D. G. Blevins, J. C. Polacco and D. D. Randall. 1987. Ureide catabolism in soybeans. II. Pathway of catabolism in intact leaf tissue. Plant Physiol. 83 : 585-591.