

Research Article

유묘기 장기간 습해처리에 따른 옥수수의 생육 및 수량 특성 변화

신성휴^{1*}, 정건호², 김성국², 손범영², 김상곤², 이진석², 김정태², 배환희², 권영업², 심강보², 이재은², 백성범², 전원태^{2**}

¹농촌진흥청 연구정책국, ²국립식량과학원 중부작물부

Effect of Prolonged Waterlogging on Growth and Yield of Characteristics of Maize (*Zea mays* L.) at Early Vegetative Stage

Seonghyu Shin^{1*}, Gun-Ho Jung², Seong-Guk Kim², Beom-Young Son², Sang Gon Kim², Jin Seok Lee², Jung Tae Kim², Hwan-hee Bae², Youngup Kwon², Kang-Bo Shim², Jae-Eun Lee², Seong-Bum Baek² and Weon-Tai Jeon^{2**}

¹Research Policy Bureau, RDA, Jeonju-si, Jeonlabu-do, 54875, Republic of Korea.

²Department of Central Area Crop Science, NICS, RDA, Suwon 16429, Republic of Korea.

ABSTRACT

Waterlogging strongly affects maize (*Zea mays* L.) growth. It is necessary to find the screening method of waterlogging tolerant maize lines. This study was to investigate the growth characters at V3 stage of maize, when is very sensitive to waterlogging. Six Korean maize inbred lines were subjected to waterlogging at V3 stage for 30 days. The 30 days waterlogging treatment significantly reduced plant height, number of expanded leaves, and SPAD value, compared with the control plants. SPAD values were significantly different among the six inbred lines, KS140 was the highest. The dry matter accumulation of aerial and root part were significantly decreased by 30 days waterlogging. KS140 was the weightiest among inbred lines. The dry matter of adventitious root showed same trend. Waterlogging treatment significantly reduced to ear length and thickness, grains filling length, grain number per ear, and maize grain. Plant height, SPAD value, and number of fully-expanded leaf showed high correlation with maize grain yield, but number of senescent leaves, dry matter of adventitious root and TR ratio did not, suggesting that the former three traits may be good indicator for evaluating 30-day waterlogging tolerance of maize inbred lines. KS164 was the highest yield by increasing of grains filling length and grain number per ear of among waterlogging inbred lines. According to the results, evaluation of maize waterlogging should be consider both early growth characteristics and resilience in the later growth stages.

(Key words : Maize, Waterlogging tolerance, Growth, Yield, Excessive moisture)

I. 서론

우리나라에서 재배되는 식용 옥수수(찰옥수수, 단옥수수)의 재배면적은 15,823ha (2011) 이고, 사료용 옥수수의 재배면적은 약 12,000ha (2011)로 추정하고 있으며 사료용 옥수수의 수입량이 해마다 증가하여 2010년 8,512천톤이 수입되었다(Beak et al., 2013). 국산 조사료의 자급률 향상 및 쌀 생산 조정을 위한 옥수수의 논 재배면적 확대를 위해서는 내습성 품종의 육성과 선발이 필요하다. 옥수수는 다른 발작물과 유사하게 습해에 약하며 특히 생육초기에 습해를 받으면 피해를 많이 받는 것으로 알려져 있다(Shin et al., 2016). 과습 상

태가 되면 수 시간 내에 토양이 혐기상태로 되어서 뿌리가 저농도의 산소 상태를 견디지 못하여 수량 감수를 초래한다(Dennis et al., 2000). 담수 상태에서 생육이 가능한 벼와 달리 옥수수는 뿌리의 통기조직이 잘 발달되어 있지 않아서 혐기상태가 되면 활성산소의 농도 균형이 교란되면서 활성산소가 축적된다. 따라서 혐기적 스트레스로 인하여 세포가 과산화 지방질막과 항산화계의 변화가 일어나는 것으로 알려져 있다(Blokhina, 2000). 옥수수가 습해 스트레스를 받으면 식물체는 다양한 형태로 반응한다. 가장 흔한 증상이 잎의 노화(황화) 현상이다(Yan et al., 1996). 또한 습해 처리 시 뿌리와 줄기의 건물중 감소(Kozłowski, 1984; Semthurst and Shabala, 2003;

* Corresponding author : Seonghyu Shin, Research Policy Bureau, RDA, Jeonju-si, Jeonlabu-do, 54875, Republic of Korea, Tel: +82-63-238-0720, E-mail: shin2004@korea.kr

** Corresponding author : Weon-Tai Jeon, Department of Central Area Crop Science, NICS, RDA, Suwon 16429, Republic of Korea, Tel: +82-31-695-4091, E-mail: jeon0tai@korea.kr

Liu et al., 2010), 습해로 인한 뿌리의 양·수분 공급 능력 저하 (Musgrave and Ding, 1998), 잎의 노화로 인한 광합성 저해 등으로 옥수수의 수량도 유의적으로 감소한다고 보고되었다 (Ren et al., 2016). 옥수수의 습해에 관한 연구는 주로 습해 발생 시 구조, 형태, 해부학, 생화학 및 대사학적 반응에 대한 중심으로 이루어져 왔다(Subbaiah and Sachs, 2003; Jung et al., 2015). 옥수수 내습성 품종을 선발하기 위하여 습해 처리 시기, 기간, 선발 지표 등 방법론적 연구가 부족한 실정이다. 최근 옥수수 3 엽기(V3)에 습해 처리 자식계통의 황화정도를 내습성 지표로서 이용 가능성을 보고하였으나(Shin et al., 2016; Cambell et al., 2015), 논 재배 확대를 위한 30일 이상 장기 침수 조건에서 옥수수의 생육특성 변화에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구는 사료용 옥수수의 내습성 검정을 위한 기초자료를 얻고자 장기 침수 처리에 따른 옥수수의 생육 및 수량 특성을 평가하고자 수행하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시험 계통 및 습해처리

본시험은 농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부(수원 소재) 발작물시험포장(37.2 N, 126.9 E)의 비가림 비닐하우스에서 포트 시험으로 수행되었다. 시험품종은 국립식량과학원에서 육성한 6개의 사료용 옥수수 자식계통(KS85, KS124, KS140, KS141, KS163, KS164)을 사용하였다. KS124와 KS85는 광평옥의 모본과 부분, KS140과 KS141은 강다옥의 모본과 부분, KS164과 KS163는 양안옥의 모본과 부분이다. 포트에 충전한 토양은 사양질 밭토양을 2cm 채로 치고 원예용상토(바로커)를 2(밭토양) : 1(원예용 상토) 비율로 섞은 후 와그너포트 1/2,000a에 모래를 10cm 정도 넣고 준비한 토양을 와그너포트에 채워 넣고 파종은 계통별 종자 3개씩을 파종하였다. 옥수수 식물체가 2엽기에 이르렀을 때 1개체씩만 남기고 솟아 내었다. 옥수수가 3엽기에 이르렀을 때, 습해처리를 위하여 각 계통의 포트를 1개씩 대형 사각플라스틱 상자(길이 100cm, 너비 62cm, 깊이 70cm)에 옮긴 다음 물을 와그너 포트의 토양표면이 1cm 정도 잠기도록 넣었다. 습해처리는 내습성 검정을 위한 적정 습해 처리 기간을 구명하기 위하여 30일 동안 하였다. 습해처리가 끝나면 옥수수 수확기까지 정상적인 조건에서 재배하였다. 시비조건 등 그 외 재배법은 농촌진흥청 표준재배법에 따랐다. 시험구 배치는 완전임의배치법에 따라 6반복으로 하였다.

2. 습해처리 직후 생육조사

습해 처리가 끝난 직후 정상구와 습해처리구의 옥수수 식물체의 초장을 측정하였고, 완전전개엽수와 황화엽수도 조사하였다. 최상위와 차상위 완전전개엽의 SPAD (SPAD-502, Konica-Minolta, Japan)값을 측정하고, 개체당 평균값을 구하였다.

3. 수확기 생육조사

수확기 때는 옥수수의 개체별 지상부의 건물중을 조사하였고, 지하부는 뿌리와 부정근으로 구분하여 건물중을 조사하였다. 지상부와 뿌리(부정근 포함)의 건물중의 비율 (T/R율)을 구하였다. 개체별로 수확한 이삭의 길이와 두께, 착립이삭 길이를 조사하였다. 부위별로 건조기(70℃, 5일)에 건조한 다음 무게를 측정하여 건물중을 구하였다. 이삭을 건조한 다음 종실을 손으로 탈립하여 건물중을 측정하여 개체당 종실수량을 구하였고, 이삭당 종실수를 조사하였다.

4. 통계처리

모든 데이터는 평균±표준오차이며 SAS 통계프로그램(ver. 9.2, SAS Institute, USA)으로 구하였다.

III. 결과 및 고찰

옥수수는 유묘기에 습해에 약한 작물이다(Shin et al., 2016; Liu et al., 2010). 습해처리 시 완전전개엽수, 황화엽수, 초장, 엽색도(SPAD 값)은 Fig. 1과 같다. 습해 30일 처리에 의하여 무처리에 비하여 초장, 완전전개엽수 및 엽색도(SPAD)는 모든 계통에서 유의적으로 감소하였다. 이는 습해에 의하여 옥수수의 지상부의 생장이 크게 저해를 받음을 알 수 있다. 황화엽수는 KS140 계통을 제외하고는 무처리와 침수처리간 및 계통간에도 유의적 차이가 없었다. 따라서 30일 이상 장기 침수 시 엽수는 내습성 정도의 지표가 될 수가 없음을 추정할 수 있었다. 엽색도는 계통간 차이가 있었고 KS140 계통이 엽색도가 높았고 KS141 계통이 낮았다. 이는 Shin(2016)의 황화정도에 따른 KS124, KS140, KS141 강, KS85와 KS163 약하다는 결과와 약간 상이하였다. 이는 침수기간이 길어짐에 따라서 내습성의 정도가 달라지며 배수 후 생육이 재생함에 그 원인이 있는 것으로 사료 되었다.

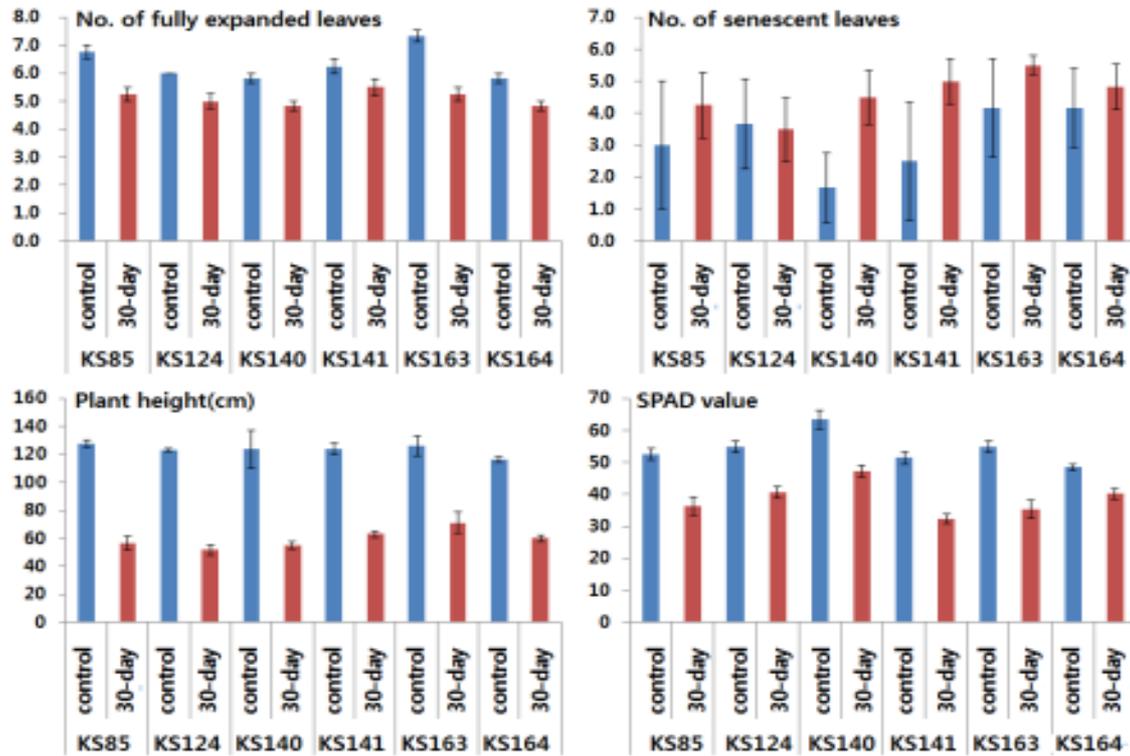


Fig. 1. Number of senescent and fully expanded leaves, plant height, and SPAD value of maize inbred lines at the 30 days after waterlogging initiation. Error bar is standard error(n=6).

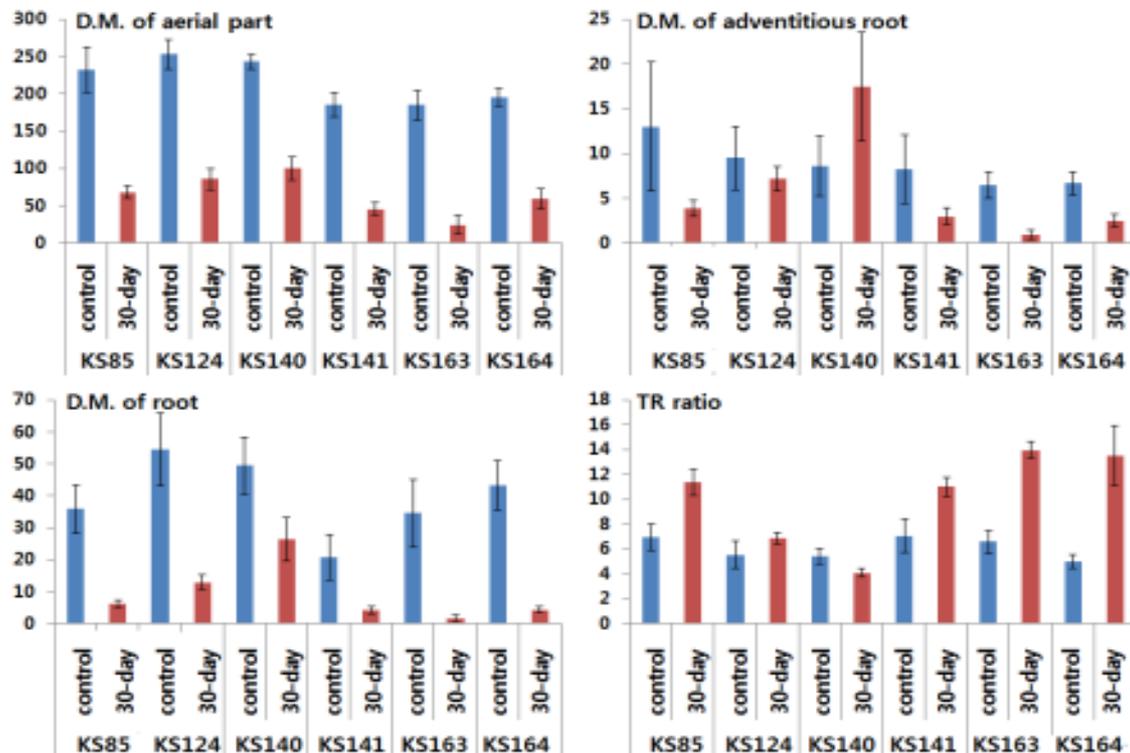


Fig. 2. Dry matter (g) of aerial part, root and adventitious root, and T/R ratio of maize inbred lines subjected to the 30 days waterlogging at harvest. Error bar is standard error(n=6).

옥수수의 30일간 습해 처리 후 수확기의 지상부와 지하부의 건물중, 부정근 및 T/R율의 변화는 Fig. 2와 같다. 지상부의 건물중은 30일 습해처리에 따라서 모든 계통이 유의적 감소하였고 계통간에는 KS140이 가장 높았고 KS163이 가장 적었다. 이와 같은 결과는 습해 처리 시 건물중이 감소한다는 (Ashraf and Rehman, 1999, Liu et al., 2010; Shin et al., 2016) 결과와 유사하여 건물중이 내습성의 중요한 지표가 될 수 있음을 시사하였다. 표토에서의 부정근의 발생은 옥수수가 침수나 과습 시 발생하는 가장 중요한 적응 현상 중의 하나로 알려져 있다(Hochholdinger and Tuberosa, 2009). 부정근의 건물중은 계통간에 지상부 건물중의 결과와 상이하였고 KS140 계통이 가장 높은 수치를 보였다. 이는 부정근의 발생은 환경적 요인뿐만 아니라 계통이 가지고 있는 유전적 요인의 영향도 받음을 추정할 수 있었다. 지상부는 지하부와 관련하여 생장하는데 침수처리에 따른 지상부 건물중과 지하부 뿌리 건물중의 비율인 T/R율을 산출한 결과 KS140계통을 제외한 모든 계통에서 침수 처리를 함으로써 T/R율이 높은 경향을 보였다. 이는 식물체가 습해 스트레스를 극복하기 위하여 뿌리 생장을 촉진하는 것으로 추정되며 KS140에서 T/R율이 낮은 것은 부정근의 발생이 많은 것에 기인된 것으로 판단된다.

침수 30일 후 옥수수 수확기의 수량 관련 형질은 Table 1과 같다. 옥수수가 생육시기 동안 일정기간의 습해를 받으면 생육, 특히 수량 관련 형질이 영향을 많이 받는다. 옥수수 종실의 저장에 영향을 미치는 이삭길기와 두께의 변화를 조사하였는데 두 형질 모두 침수 30일처리에 의하여 유의적으로 길이가 작아지고 두께가 얇아졌다. 습해 처리를 받았던 계통들간의 차이는 뚜렷하지 않았지만 KS141 계통이 상대적으로 차이가 적었고 KS163 계통이 차이가 많았다. 이는 침수기간이

기존 연구(Liu et al., 2010; Shin et al., 2016)에서 습해 처리기간이 길었던 것에 원인이 있었던 것으로 판단되었다. 수량에 직접적인 영향을 미치는 착립이삭길기, 개체당 종실수도 이삭의 길기와 두께처럼 모든 계통이 무처리에 비하여 침수 30일에는 유의적으로 감소하였다. 이삭의 두께와 길이처럼 계통간에는 큰 차이가 없었으나 감소의 정도는 이삭길기가 이삭 두께보다 더 많이 감소하여 습해에 이삭의 길이가 더 많이 피해를 받는다는 것을 알 수 있었다. 일반적으로 옥수수 재배 시 근권의 과습상태 경과를 생육의 부진 및 수량감수에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Zaidi et al., 2001). 자식 계통간의 수량 관련 형질을 조사한 결과, 습해처리에 따라서 착립이삭길기와 개체당 종실수가 유의적으로 감소하였다. 이삭 길이 두께와 달리 착립이삭길과 개체당 종실수 모두 KS164 계통에서 가장 적게 감소하였다. 따라서 습해에 의한 가장 민감한 구성요소는 착립이삭길기보다 개체당 종실수였다.

30일간 습해 처리 후 옥수수의 수량은 Fig. 3과 같다. 습해 30일 처리에는 모든 계통에서 수량이 유의적으로 감소하였으나 계통간에는 큰 차이가 없었다. 다만 KS164 계통이 습해에 강한 것으로 나타났고 KS85 계통이 습해에 약한 경향이였다. 이러한 수량의 결과는 수량관련 형질(Table 1)의 결과와 유사하였다. 즉 생육 초기에 평가했던 엽색도가 가장 높았고(Fig. 1) 수확기 지상부 건물중도 많았던(Fig. 2) KS140 계통보다 개체당 종실수의 감소가 가장 적었던 KS164 계통이 수량이 가장 높았으며 무처리와의 차이도 가장 적었다. 한편, Shin 등 (2016)의 보고에 따르면 옥수수 유묘기 15일 습해처리 시험에서는 KS124와 KS141 계통이 가장 수량이 높았다는 결과와 상이하였다. 이와 같이 다른 결과는 습해 처리가 연장됨에 따라서 계통들의 반응이 상이하고 배수 후 회복 속도와 정도

Table 1. The traits related to yield of maize inbred lines subjected to the 30 days waterlogging. Error bar is standard error(n=6)

Inbred lines	Water-logged	Ear length			Ear thickness			Grains filling length			Grains		
		(cm)	% ^a	(mm)	%	(cm)	%	No. per ear	%				
KS85	Control	10.4	±1.6	100	41.5	±2.4	100	10.2	±1.5	100	235.5	±63	100
	30 days	5.6	±0.6	53.8	23.6	±2.7	56.9	3.1	±1.8	30.4	15.5	±9	6.6
KS124	Control	14.2	±0.4	100	40.5	±1.1	100	13.7	±0.7	100	279.3	±44	100
	30 days	8.0	±1.8	56.3	22.5	±3.3	55.6	5.9	±2.3	43.1	44.2	±22	15.8
KS140	Control	13.9	±0.4	100	39.2	±1.0	100	11.5	±0.7	100	357.3	±58	100
	30 days	6.9	±1.0	49.6	17.6	±3.7	44.9	1.8	±1.8	15.7	32.2	±32	9.0
KS141	Control	15.6	±1.3	100	34.3	±4.5	100	13.5	±0.7	100	271.8	±73	100
	30 days	10.4	±0.7	66.7	24.1	±5.5	70.3	4.7	±2.8	34.8	19.0	±19	7.0
KS163	Control	14.0	±0.9	100	35.8	±1.2	100	12.9	±0.7	100	220.2	±32	100
	30 days	4.0	±2.0	28.6	16.2	±6.8	45.3	3.4	±1.7	26.4	34.8	±22	15.8
KS164	Control	12.1	±0.5	100	33.0	±0.8	100	10.9	±0.4	100	195.2	±14	100
	30 days	7.0	±1.5	57.9	22.2	±5.0	67.3	6.0	±1.3	55.0	118.5	±30	60.7

^a% : (Treatment/control)*100.

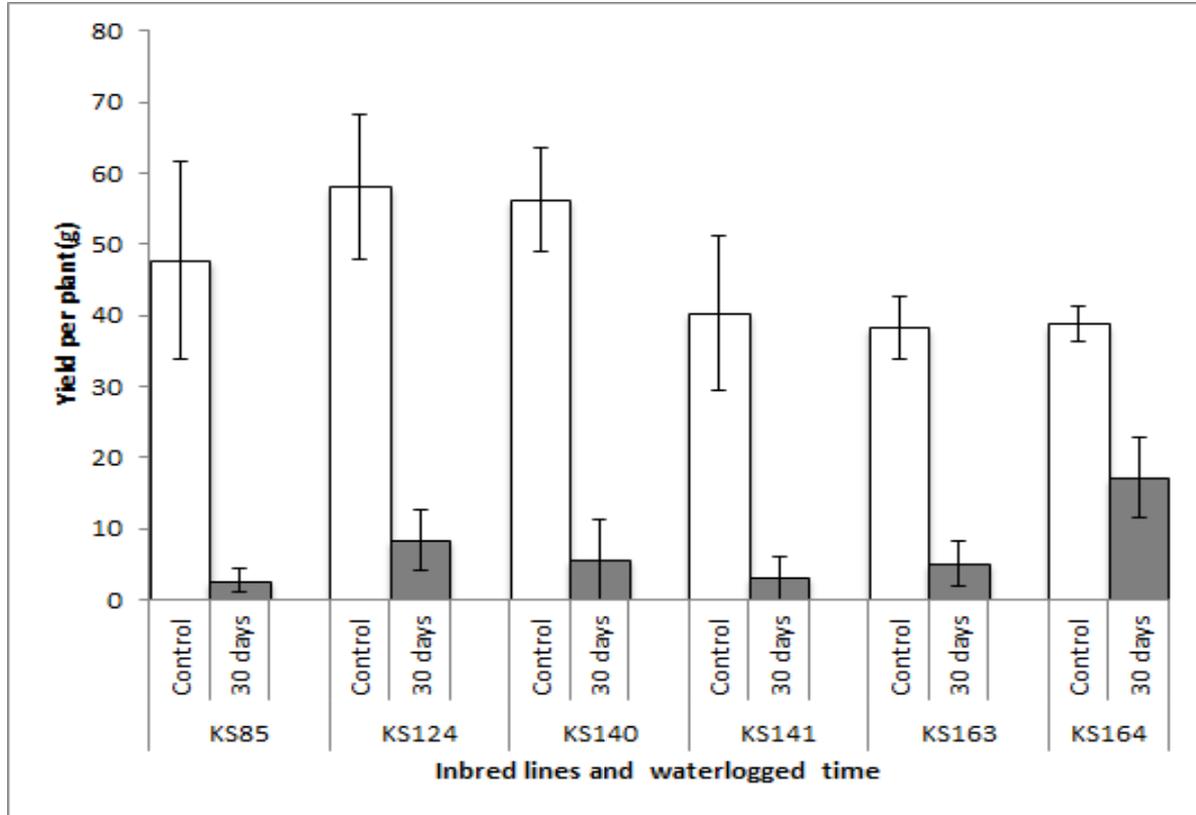


Fig. 3. The yield of maize inbred lines subjected to the 30 days waterlogging treatment. Error bar is standard error (n=6).

가 달랐기 때문인 것으로 판단되었다. 따라서 추후 습해 처리 기간에 따른 옥수수 자식 계통들의 생리적, 형태적 변화 구명 연구가 필요한 것으로 판단되었다.

습해 30일 처리에 의한 옥수수의 대표적인 습해 반응 지표인 완전전개엽수, 황화엽수, 초장, 엽색도(SPAD 값), 부정근, T/R률과 옥수수 수량의 상관계수를 분석하였다 (Table 2). 분석결과, 옥수수 수량과 정의 상관관을 나타낸 지표는 완전전개엽수, 초장, 엽색도, 부정근이었고, 부의 상관관을 나타낸 것은 황화엽수와 T/R률이였다.

초장이 수량과 가장 높은 상관계수($r=0.779$)를 나타내었고 엽색도($r=0.627$)와 완전전개잎수($r=0.599$)도 수량과 비교적 높은 상관관을 나타내었다. 하지만 황화엽수($r=-0.231$), 부정근

($r=0.326$), T/R률($r=-0.298$)은 수량과 비교적 낮은 상관관을 보였다. 이는 기존에 보고(Shin et al., 2016)된 15일간 습해처리와 비슷한 경향이였지만, 30일 습해처리에 따른 황화엽수는 수량과의 상관계수가 15일 습해처리보다 훨씬 낮았다. 이는 30일 습해처리가 15일 보다 훨씬 심한 피해를 주면서 황화엽수의 계통간 차별적 변이를 보여주지 못하였기 때문인 것으로 판단된다. 이로 보아 30일 습해처리에 의한 옥수수 자식계통 선발 시 측정하기 어렵고 상관도도 낮은 부정근보다는 측정하기 쉽고 수량과 상관도 높은 초장이나 엽색도(SPAD값)가 습해 내성 선발지표로 적합할 것으로 추정되었다.

Table 2. Pearson's correlation coefficient between the traits and plant grain yield

Pearson's correlation coefficient with plant grain yield					
No of full-expanded leaves	No of senescent leaves	Plant height	SPAD value	D.M. of adventitious root	TR ratio
0.599**	-0.231**	0.799**	0.6266**	0.326**	-0.298**

*** means the values are significant at $P=0.01$.

IV. 적 요

본 연구는 사료용 옥수수의 내습성 검정을 위한 기초자료를 얻고자 자식 6계통을 3엽기에 30일간 습해 처리 후 옥수수의 생육 특성 및 수량 변화를 구명하고자 농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부 시험포장(온실)에서 수행한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 습해 처리 시 모든 자식 계통이 무처리에 비하여 초장, 완전전개엽수 및 엽색도(SPAD)는 모든 계통에서 유의적으로 감소하였으며 엽색도는 KS140 계통이 높았고 KS141 계통이 낮았다.
2. 지상부와 뿌리의 건물중은 습해처리 후 모든 계통이 유의적으로 감소하였으며 자식 계통들 간에는 KS140이 가장 많았고 KS163이 가장 적었다. 부정근의 건물중은 무처리와 유의적 차이는 없었으나 KS140 계통에서 높은 경향을 보였다
3. 수확기 옥수수의 이삭길기와 두께 및 착립이삭길이, 개체당 종실수 모두 무처리에 비하여 유의적으로 감소하였다. 무처리에 비하여 이삭 길기와 두께는 KS141 계통이 착립이삭길과 개체당 종실수에서는 KS164 계통이 가장 적게 감소하였다.
4. 옥수수 수량은 무처리에 비하여 습해 처리한 모든 계통에서 유의적으로 감소하였으나 습해 처리 계통들 간에는 KS164 계통만 유의적으로 수량이 높아 내습성인 것으로 판단하였다.
5. 옥수수 유효기 30일간 습해처리시 초장, 엽색도(SPAD값), 완전전개엽수가 옥수수 수량과 상관성이 높았다.

V. 사 사

본 논문은 농촌진흥청 작물시험연구(ATIS 과제 번호: PJ01020002)의 지원으로 수행된 결과입니다.

VI. REFERENCES

Ashraf, M., and Rehman, H. 1999. Mineral nutrient status of corn in relation to nitrate and long-term waterlogging. *Journal of Plant Nutrition*. 22:1253-1268.

Beak, S.B., Lee, J.S., Kim, S.L., Shon, B.Y., Jung, G.F., Shin, S.H., Kim, J.T., and Kim, S.K., 2013. Maize. RDA (in Korean).

Blokhina, O. 2000. Anoxia and oxidative stress : Lipid peroxidation, antioxidant status and mitochondria functions in plants. Academic Dissertation, Department of Bioscience Division of plant physiology,

University of Helsinki. pp. 11-34.

Campbell, M.T., Proctor, C.A., Dou, Y., Schmitz, A.J., Phansak, P., Kruger, G.R., Zhang, C., and Walia, H. 2015. Genetic and molecular characterization of submergence response identifies Sub1a as a major submergence tolerance locus in maize. *PLoS One* 10: e0120385. doi: 10.1371/journal.pone.0120385.

Dennis, E.S., Dolferus, R., Ellis, M., Rahman, M., Wu, Y., Hoeren, F.U., Grover, A., Ismond, K.P., Good, A.G., and Peacock, W.J. 2000. Molecular strategies for improving waterlogging tolerance in plants. *Journal of Experimental Botany*. 51:89-97.

Hochholdinger, F., and Tuberosa, R. 2009. Genetic and genomic dissection of maize root development and architecture. *Current Opinion in Plant Biology*. 12:172-177.

Jung, G.H., Moon, J.G., Seo, J.H., and Seo, M.J., 2015. Studies on the mechanism of excess water stress for stable production of upland crops in paddy field. Research report (National Institute of Crop Science). 416-454 (in Korean).

Kozłowski, T.T. 1984. Extent, causes, and impacts of flooding. In: Kozłowski T T, ed, *Flooding and Plant Growth*. Academic Press, New York. pp. 1-7.

Liu, Y.Z., Tang, B., Zheng, Y.L., Ma, K.J., Xu, S.Z., and Qiu, F.Z. 2010. Screening methods for waterlogging tolerance at maize (*Zea mays* L.) seedling stage. *Agricultural Sciences in China*. 9:362-369.

Musgrave, M. E., and Ding, N. 1998. Evaluating wheat cultivars for waterlogging tolerance. *Crop Science*. 38:90-97.

Ren, B., Zhang, J., Dong, S., Liu, P., and Zhao, B. 2016. Effects of waterlogging on Leaf Mesophyll Cell Ultrastructure and photosynthetic Characteristics of Summer Maize. *PLoS ONE*. 11:e0161424. doi:10.1371/journal.pone.0161424.

Semthurst, C.F., and Shabala, S. 2003. Screening methods for waterlogging tolerance in Lucerne: comparative analysis of waterlogging effects on chlorophyll fluorescence, photosynthesis, biomass and chlorophyll content. *Functional Plant Biology*. 30:335-343.

Shin, S.H., Kim, S.K., Jung, G.H., Kim, C.G., Son, B.Y., Kim, J.T., Kim, S.G., Yang, W.H., Kwon, Y.U., Shim, K.B., and Woo, M.K. 2016. Evaluation of Waterlogging Tolerance with the Degree of Foliar Senescence at Early Vegetative Stage of Maize (*Zea Mays* L.). *Journal of Crop Science and Biotechnology*. 19:267-274.

Subbaiah, C.C., and Sachs, M.M. 2003. Molecular and cellular adaptations of maize to flooding stress. *Annals of Botany*. 91:119-127.

Yan, B., Dai, Q., Liu, X., Huang, S., and Wang, Z. 1996. Flooding-induced membrane damage, lipid oxidation and activated oxygen generation in corn leaves. *pLANT sOIL*. 179:261-268.

Zaidi, P.H., Rafique, S., Rai, P.K., Singh, N.N., and Srinivasan, G. 2001. Tolerance to excess moisture in maize: susceptible crop stages and identification of tolerant genotypes. *Field Crops Research*. 90:189-20.

(Received : August 17, 2017 | Revised : October 27, 2017 | Accepted : October 30, 2017)