

어젠다코드	6-20-72		구 분	완결	
기술분야코드	V2	기술유형코드	C01	작목구분코드	FC-04-0401
과제종류	공동연구		세세부사업	지역특화작목 기술개발	
연구과제 및 세부과제			수행기간	소속	과제책임자
고품질 찰옥수수 종자 생산 시스템 구축			'13~'14	강원대학교	이주경
1) 경종적방법에 의한 옥수수 한발피해 감소기술 개발			'13~'14	옥수수연구소	서영호
색인용어	찰옥수수, 한발, 경종적 방법, 피해 감소				

## ABSTRACT

Climate change may result in greater risk of yield reduction of waxy corn due to drought stress and maize is one of the sensitive crops to the soil moisture shortage. While irrigation is the most effective practice to reduce the drought damage, farmers are unable to apply water due to limited water resource and irrigating facilities. The study was conducted to investigate the application effect of salicylic acid and abscisic acid on reducing drought stress of waxy corn (*Zea mays* L.) and the pre-treatment effect of salicylic acid on reducing drought damage of waxy corn. For the study of application effect of salicylic acid and abscisic acid on reducing drought stress of waxy corn, drought stress was imposed by withholding irrigation from 9 days before anthesis to 14 days after anthesis. Salicylic acid or abscisic acid was applied on tasseling date at concentration of 0.5 mM and 0.1 mM, respectively. Drought stress increased anthesis-silking interval (ASI) by 3.0~3.3 days and decreased plant height, ear length, ear diameter, number of rows in ear, and yield by 47~51 cm, 4.6~5.0 cm, 4.4~5.3 mm, 1.5~2.0, and 2.4~2.5 Mg/ha, respectively. Application of salicylic acid and abscisic acid did not significantly reduced the drought injuries of waxy corn. Pretreatment of the plant growth regulators before water deficit stress or divided application at low concentration may be required to obtain the reduction effect on drought stress of waxy corn. For the study of pre-treatment effect of salicylic acid on reducing drought damage of waxy corn, salicylic acid at concentration of 0.2 mM was applied at seven-leaf stage or ten-leaf stage three times. Drought stress was imposed by withholding irrigation from 11 days before anthesis to 10 days after anthesis. Application of salicylic acid significantly increased ear length by 11.0~12.3% and yield by 8.8~11.3% compared with non-treated control, indicating that the drought injuries of waxy corn can be alleviated through pre-treatment of salicylic acid at the vegetative stage.

## 1. 연구목표

세계 3대 작물의 하나인 옥수수의 국내 재배면적은 2000년 15,808 ha에서 2012년 17,001 ha로 증가하였으며, 이에 따라 생산량은 64,205톤에서 83,210톤으로 늘었다(KOSIS, 2013). 기후변화에 따라 강수량의 시간적·공간적 변동성이 커지므로, 가물거나 폭우에 의한 피해 위험도가 높아질 것이다(NIMR, 2011). 기상이변에 따른 기습적, 장기적인 한발은 식량의 안정생산 공급을 저해하고, 이에 따라 국내 식량 자급율과 경지 이용율이 지속적으로 감소 추세에 있다. 세계 옥수수 생산량은 840백만톤(2012)으로 전년 대비 4.1% 감소하였는데, 미국은 13.2%, EU 12.6%, 브라질 3.8% 감소하였다. 국내 경지이용율은 1970년 142%에서 1985년 120%, 2000년 111%, 2007년 103%로 감소 추세에 있다. Ault 등 (2014)은 가뭄이 장기간 지속될 위험이 높아질 것으로 예측하였으며, 한 예로 미국 남서부 지방에서 10년 이상 가뭄이 지속될 위험이 최소 80%이고, 35년 이상 계속될 가능성이 20~50%, 50년 이상의 가뭄 위험은 5~10%라고 하였다. 우리나라에서 옥수수 재배에 필요한 물의 양은 생육 초기에 하루 평균 2.02 mm, 신장기 3.41 mm, 중기 4.41 mm, 후기 3.48 mm, 말기 3.01 mm이다(Eom 등, 2013). 2014년 6월에 우리나라의 강수량은 77.6 mm (하루 평균 2.6 mm)로 평년 158.6 mm의 49%에 불과하였다.

1950년대에 Robins and Domingo (1953)는 옥수수 개화기의 한발이 다른 생육 단계보다 수량 감소에 대한 영향이 크다고 하였으며, 이후 Claasen and Shaw (1970)는 출사 전과 출사기의 한발로 수량이 각각 15%와 53% 줄었고, 출사 후 3주 동안 한발 피해를 받으면 30% 감소한다고 하였다. Shaw (1976)는 옥수수가 한발에 가장 민감한 시기는 출수 7일 전부터 15일 후까지로, 다른 시기에 비해 수량 감소폭이 2~3배에 이른다고 하였다. NeSmith and Ritchie (1992)는 출수 직전부터 알곡에 양분이 채워지기 시작할 때까지 가물면 수량은 최고 90% 감소하고 불임율은 77%에 이른다고 하였다. 수분이 부족하면 옥수수의 잎과 수염의 생장이 저하되고, 엽면적의 감소로 광합성에 필요한 빛을 덜 받게 되며 출수-출사기의 간격이 벌어진다 (Aslam, 2011). 또한 무기 양분의 흡수와 이동, 분배가 불량해지고, 기공이 닫혀서 잎의 온도가 높아지며, 기체 교환이 순조롭게 되지 않아 이산화탄소 분압이 낮아져서 광합성이 저하되어 옥수수 수량이 줄게 된다 (Aslam, 2011). 2012년 가뭄으로 미국의 옥수수 수량은 ha당 7.6톤으로 24% 낮아진 것으로 추정되며 (Al-Kaisi 등, 2013), 아프리카에서는 가뭄으로 옥수수 수량이 최대 70% 감소된다 (Ashraf, 2010).

관개가 한발 피해를 줄이는 데 가장 효과적이거나, 제한된 물 자원과 관개 비용 등으로 관개를 할 수 없는 경우가 많다 (Cakir, 2004). 여러 생장조절제를 처리하여 옥수수의 가뭄 스트레스를 줄이는 연구들이 계속되어 왔는데, 그 예로 살리실산 (Amin 등, 2013; Kadioglu 등, 2011; Rao 등, 2012; Saruhan 등, 2012; Tufail 등, 2013; Zamaninejad 등, 2013), 엡시식산 (Aroca 등, 2003; de Souza 등, 2013; Hu *et al.*, 2005; Jiang & Zhang, 2003; Liu *et al.*, 2005), 지베렐린, 사이토키닌 (Akter 등, 2014), 코로나틴 (Wang 등, 2008), 글라이신 베타인 (Anjum 등, 2011), 트레할로스 (Ali and Ashraf, 2011), 브라시노라이드 (Anjum 등, 2011), 티오우레아 (Amin 등, 2013), L-트립토판 (Rao 등, 2012), 규소 (Zargar and Agnihotri, 2013) 등이 있다. 이러한 물질들을 종자에 처리하거나 잎에 살포하면 수분 부족

스트레스에 의한 생장 저해를 낮추어주고, 광합성율과 잎 면적, 건물 생산을 높여주는 것으로 알려져 있다 (Elwana and El-Hamahmyb, 2009). Seo 등 (2014)은 여러 생장조절제 가운데 비교적 값이 싸고 실용화하기 쉬운 살리실산과 앱시식산이 찰옥수수의 한발 스트레스를 얼마나 줄일 수 있는지 검토하였으며, 그 결과 한발 처리 중인 개화기에 이들 생장조절제를 한 차례 처리하면 가뭄피해 경감 효과가 없음을 보고하였으며, 한발 전에 처리하거나 저농도로 여러 번 처리할 것을 제안하였다.

옥수수 등 주요 식량작물에 대한 재해경감 기술개발은 기후변화 영향 평가 및 대응 전략을 추진하진 데 있어 매우 필요한 핵심기술이다. 특히 옥수수는 타 작물 대비 잎 면적 등 지상부 건물중이 상대적으로 크기 때문에 한발 피해에 생장이 민감하게 반응하고 생산량 감소에 막대한 영향을 주므로, 옥수수 한발 피해 경감기술 개발이 시급하다.

여러 생장조절물질들을 종자에 처리하거나 잎에 살포하면 수분 부족 스트레스에 의한 생장 저해를 낮추어주고, 광합성율과 잎 면적, 건물 생산을 높여주는 것으로 알려져 있다(Elwana & El-Hamahmyb, 2009). 그런데 이들 물질들이 옥수수의 종류 가운데 열성인 찰옥수수의 한발 피해를 줄여주는 효과에 대한 연구는 매우 제한적이다. 본 연구는 여러 생장조절제 가운데 비교적 값이 싸고 실용화하기 쉬운 살리실산과 앱시식산이 찰옥수수의 한발 스트레스를 얼마나 줄일 수 있는지 검토하였으며, 또한 영양생장기에 살리실산을 3회 처리한 다음 개화기에 한발 처리를 하여 그 가뭄 피해 경감 효과를 확인하였다.

## 2. 재료 및 방법

### (시험 1) 찰옥수수 한발 스트레스에 대한 살리실산과 앱시식산의 처리 효과

본 연구는 강원도농업기술원 옥수수연구소(강원도 홍천군, N 37°53'56" E 128°02'19")의 연동형 플라스틱 하우스(700 m<sup>2</sup>)에서 수행되었으며, 토양은 홍천통(sandy skeletal, mesic family of Typic Udipsamments)으로 사양토였다. 본 연구에 쓰인 찰옥수수는 미백2호(중생종)였으며, 2013년 4월 12일에 128공 플러그 셀에 상토를 채운 다음 1립씩 파종하여 육묘하였고, 5월 2일에 70×25 cm의 재식밀도로 1주 1본 정식하였다. 시비량은 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O가 158-30-63 kg/ha였으며, 질소는 밑거름과 웃거름(7엽기)을 50:50으로 나누어 시용하였고, 인산과 칼리는 우분퇴비(1,000 kg/10a)와 함께 전량 밑거름으로 주었다. 시험구는 난괴법 3반복으로 배치하였으며, 각 시험구의 면적은 21 m<sup>2</sup>였다.

처리는 대조구로 관수구와 한발 처리구를 두었고, 생장조절제의 효과를 검토하기 위하여 한발 처리를 하면서 살리실산 또는 앱시식산을 처리한 구를 두었다. 한발 처리구는 6월 15일부터 관개를 중단하였는데, 이는 출용기인 6월 24일의 9일 전이었다. 출용 후 14일인 7월 8일에 다시 관개를 하였다. 국제 옥수수 밀 연구소(CIMMYT)에서 한발에 강한 품종을 육성할 때 처리하는 한발은 개화기 10~21일 전부터 관개를 중단하는 보통 수준의 한발(IS)과 개화기 21~35일 전부터 중단하는 극심한 한발(SS)이 있는데(Heisey & Edmeades, 1999), 본 실험에 쓰인 한발 처리는 보통 수준의 한발 처리에 해당한다고 볼 수 있다. 토양 수분 장력은 텐시오미터(Irrrometer, USA)를 20~25cm 깊이에 설치하여 측정하였는데, 한발 처리구는 관수 중단

기간 동안에 -50 kPa 이상을 유지하였다(그림 1). 살리실산과 앱시식산의 처리 시기는 출용기였으며, 처리 농도는 각각 0.5 mM과 0.1 mM이었다. 살리실산의 적정 처리 농도는 여러 가지로 보고되어 왔다. 한 예로 Amin 등 (2013)은 살리실산 200 mg/L(1.45 mM 상당)의 농도가 가장 효과가 좋다고 보고하였으며, Zamaninejad 등 (2013)은 1 mM이 가장 처리 효과가 높았다고 하였고, Rao 등 (2012)은 살리실산 100 mg/L(0.72 mM 상당)과 L-트립토판 15 mg/L를 같이 처리하였을 때가 가장 효과적이었다고 하였으며, Saruhan 등 (2012)은 1  $\mu$ M을 3일 간격으로 세 차례 처리하였을 때 한발 스트레스를 줄였다고 하였다. 앱시식산의 경우에는 Aroca 등 (2003)과 de Souza 등 (2013)이 0.1 mM 농도로 처리하였을 때 수분 스트레스를 완화하는 효과가 있었다고 하였다.

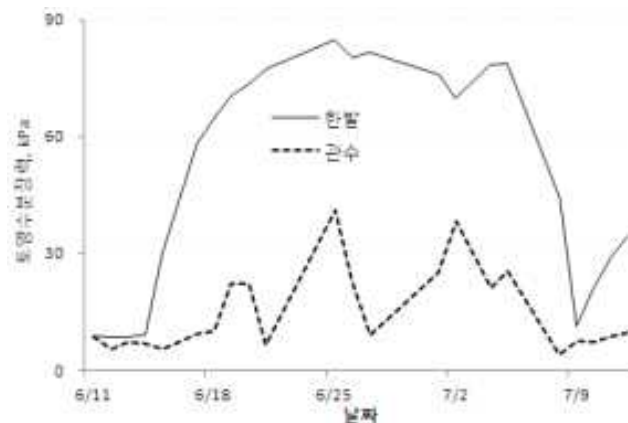


그림 1. 한발 처리 시기의 토양 수분 장력 변화

시험구의 약 50%가 출용 또는 출사되는 때를 각각 출용기와 출사기로 하였으며, 이로부터 파종기로부터 출용기 또는 출사기까지의 일수인 출용일수와 출사일수를 산출한 다음, 그 차이인 ASI(출사일수-출용일수)를 계산하였다. 시험구당 20주의 간장, 착수고, 간경, 이삭장, 이삭경, 열수를 측정하였으며, 수량은 이삭중을 바탕으로 10a 단위로 환산하여 계산하였다. 모든 통계 분석은 SAS 프로그램(ver. 9.2, SAS, Cary, NC)을 이용하였으며, 5% 수준에서 통계적 유의성을 검토하였다.

### (시험 2) 살리실산 전처리의 찰옥수수 토양수분 스트레스 경감 효과

본 연구는 강원도농업기술원 옥수수연구소의 연동형 플라스틱 하우스에서 수행되었으며, 토양은 흥천통 (sandy skeletal, mesic family of Typic Udipsamments)으로 사양토였다. 본 연구에 쓰인 찰옥수수의 품종은 미백2호 (중생종)였으며, 2014년 4월 29일에 파종하였다. 비료 사용량은 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O가 158-30-63 kg/ha였으며, 질소는 밀거름과 웃거름(7엽기)을 50:50으로 나누어 사용하였고, 인산과 칼리는 수피 퇴비 (1,000 kg/10a)와 함께 전량 밀거름으로 주었다. 시험구는 난괴법 3반복으로 배치하였으며, 각 시험구의 면적은 21 m<sup>2</sup>였다.

출수기 (7월 2일)의 11일 전인 6월 21일부터 관개를 중단하여 한발 처리를 시작하였으며, 출수 후 11일인 7월 13일에 다시 관개를 하였다. 국제 옥수수·밀 연구소 (CIMMYT)에서 한발에 강한 품종을 육성할 때 처리하는 한발은 개화기 10~21일 전부터 관개를 중단하는 보통

수준의 한발 (IS)과 개화기 21~35일 전부터 중단하는 극심한 한발 (SS)이 있는데 (Heisey and Edmeades, 1999), 본 실험에서의 한발 처리는 보통 수준의 한발 처리에 해당한다. 토양 수분 센서 (Decagon, USA)를 설치하여 토양 수분 함량을 측정하였는데, 한발 처리에 의해 수분 함량이 부피 기준으로 8.3%까지 떨어졌다(그림 2).

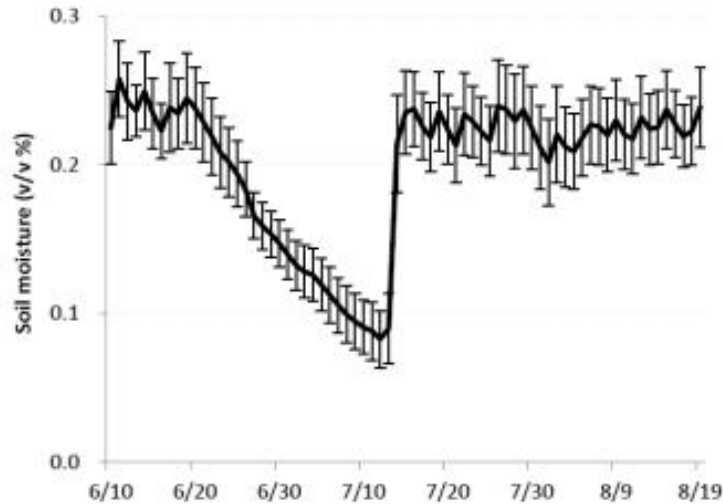


그림 2. 시험 기간 토양 수분 변화. 한발 처리 : 6. 21.~7. 12. 에러 바 : 표준편차.

살리실산의 처리 효과를 검토하기 위하여 영양생장기인 7엽기와 10엽기에 살리실산을 처리 하였으며, 처리하지 않은 구를 대조구로 두었다. 옥수수를 재배할 때 보통 7엽기는 웃거름을 사용하는 시기이며, 10엽기는 살충제를 처리하는 시기이다. 처리 농도는 0.2 mM이었으며, 3 일 간격으로 3회 처리하였다. Kadioglu 등 (2011)과 Saruhan 등 (2012)은 살리실산 1  $\mu$ M을 세 차례 처리하였을 때 한발 스트레스를 줄였다고 하였으며, Rao 등 (2012)은 100 mg/L (0.72 mM 상당)과 L-트립토판 15 mg/L를 같이 처리하였을 때 가장 효과적이었다고 하였다. Amin 등 (2013)은 살리실산 200 mg/L (1.45 mM 상당)의 농도가 가장 효과가 좋다고 보고 하였으며, Zamaninejad 등 (2013)은 1 mM이 가장 처리 효과가 높았다고 하였다.

한 시험구 내에서 전 개체의 약 50%가 출수 또는 출사되는 때를 각각 출수기와 출사기로 하였으며, 이로부터 파종기로부터 출수기 또는 출사기까지의 일수인 출수일수와 출사일수를 산출한 다음, 그 차이인 ASI (anthesis-siling interval, 출사일수-출수일수)를 계산하였다. 시험구당 15주의 간장, 착수고, 간경, 이삭장, 이삭경, 열수를 측정하였으며, 수량은 이삭중을 바탕으로 10a 단위로 환산하여 계산하였다. 모든 통계 분석은 SAS 프로그램 (ver. 9.2, SAS, Cary, NC)을 이용하였으며, 5% 수준에서 통계적 유의성을 검토하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### (시험 1) 찰옥수수 한발 스트레스에 대한 살리실산과 엽시식산의 처리 효과

물을 충분히 공급하였을 때에 출용기와 출사기 사이의 간격(ASI)은 3.0일인데 반하여, 한발 처리구는 6.0~6.3일로 높아졌다(그림 3). DuPlessis & Dijkhuis (1967)는 수분 스트레스는 옥수수 수염 생장을 지연시켜 ASI를 높인다고 하였다. 살리실산과 엽시식산의 처리는 ASI를 0.3일 줄였으나, 통계적으로 유의하지 않았다. 이들 생장조절제를 출용기에 처리하여 유의한 효과를 얻지 못한 것으로 판단된다. Rao 등(2012), Saruhan 등(2012), Zamaninejad 등(2013)은 살리실산을 한발 처리 전에 처리하여 옥수수가 한발 스트레스에 대비할 수 있었을 것으로 사료된다.

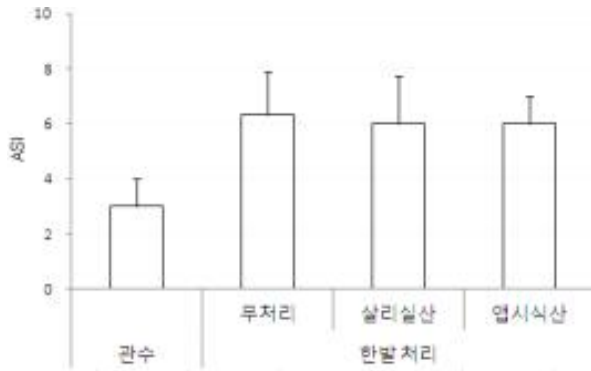


그림 3. 살리실산과 엽시식산의 처리가 출용기-출사기 간격 (ASI)에 미치는 영향. 에러 바 : 표준편차.

한발 처리구의 간장은 194~198 cm로 수분이 부족하지 않았을 때의 245 cm에 비해 작아졌다(그림 4). 수분 부족에 의해 양분 흡수 및 광합성율이 낮아졌기 때문으로 보인다. 살리실산과 엽시식산의 처리는 무처리에 비해 2~4 cm 높았으나, 유의하지 않았다. 관수구의 착수고는 114 cm였고 한발 처리구는 105~108 cm로, 간장에 비해 물 부족에 의한 영향이 크지 않았다. 간경은 관수구 16.0 mm, 한발 처리구 15.4~15.5 mm로 유의한 차이를 보이지 않았으며, 생장조절제 처리 사이에도 차이가 없었다.

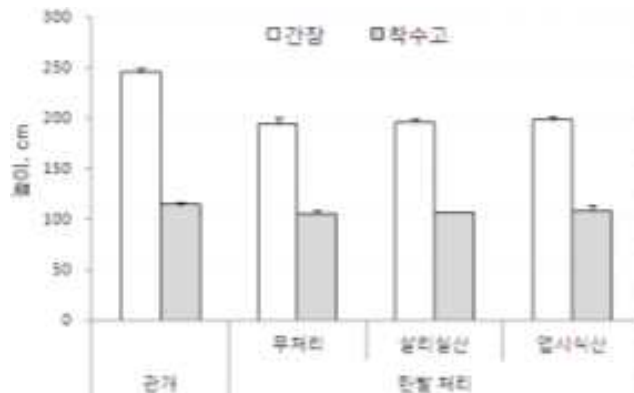


그림 4. 살리실산과 엽시식산의 처리가 간장 및 착수고에 미치는 영향. 에러 바 : 표준편차.

수분부족 스트레스에 의해 이삭장은 4.6~5.0 cm 유의하게 줄었다(표 1). 살리실산과 앱시식산의 처리는 무처리에 비해 각각 0.4 cm와 0.3 cm 늘리는 데 불과해서 유의한 차이를 보이지 않았다. 이삭경 또한 한발 처리로 4.4~5.3 mm 줄었으며, 살리실산과 앱시식산의 처리로 0.5~0.9 mm 밖에 높아지지 않았다. 개화기의 관수 중단으로 열수는 1.5~2.0개 줄었으며, 생장조절제의 처리 효과는 0.2~0.5개 증가로 미미하였다. Khalili 등(2013)은 가뭄 스트레스에 의해 옥수수의 열수가 1.75~3.75개 감소하였다고 하였다.

표 1. 살리실산과 앱시식산의 처리가 이삭 특성에 미치는 영향.

처 리		이삭장, cm <sup>†</sup>	이삭경, mm	열 수
관수(대조)		17.2±0.4 a	40.2±0.5 a	13.3±0.7 a
한발	무처리	12.2±0.5 b	34.9±1.2 b	11.3±0.7 b
	살리실산	12.6±0.3 b	35.8±0.3 b	11.8±0.7 b
	앱시식산	12.5±0.1 b	35.4±0.5 b	11.5±0.8 b

<sup>†</sup>평균±표준편차. 5% 수준 통계처리.

수분 부족 스트레스가 없을 때의 찰옥수수 수량은 5.4 Mg/ha인 데 비하여, 개화기의 한발 처리구는 2.9~3.0 Mg/ha로 유의하게 낮아졌다(그림 5). Denmead & Shaw(1960)는 개화 전, 개화기, 개화 후의 한발에 의한 수량 감소는 각각 25%, 50%, 21%라고 하였다. Grant 등(1989)은 출사 후 2~22일이 가장 한발에 민감한 시기로 낱알 수가 45% 감소한다고 하였으며, 출사 후 12~16일의 한발은 종실중을 51% 떨어뜨린다고 하였다. Heisey & Edmeades(1999)는 개화기 10~21일 전부터 관개를 중단하는 보통 수준의 한발 처리는 대조구인 관개 처리구의 수량의 40~60%이고, 21~35일 전부터 단수하는 극심한 한발은 대조구의 10~25% 밖에 되지 않는다고 하였다. 본 연구에서의 한발 처리에 의한 수량 감소폭은 44~46%로 선행 연구들의 결과와 큰 차이를 보이지 않았다. 살리실산과 앱시식산의 처리 효과는 각각 117과 103 kg/ha로 뚜렷하지 않았다.

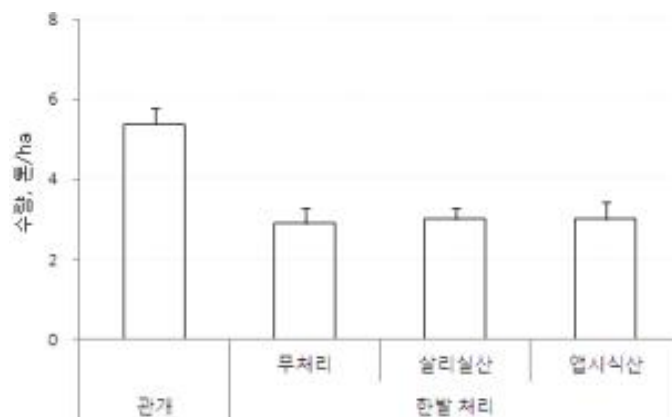


그림 5. 한발 처리시 살리실산과 앱시식산의 처리가 찰옥수수 수량에 미치는 영향.  
에러 바 : 표준편차.

한발에 의해 높아진 ASI가 생장조절제의 처리에 의해 유의하게 개선되지 않은 것과 비슷하게, 수분 부족 스트레스에 의해 낮아진 수량이 생장조절제의 처리로 뚜렷이 증가하지 않았다. 이는 개화기에 한발 스트레스를 받은 옥수수의 수량은 ASI와 높은 상관관계를 가진다는 보고(Bolanos & Edmeades, 1996)와 옥수수 수량과 ASI 사이의 관계식은 수량 = EXP(3.04-1.29SQRT(ASI+2))로, 강한 반비례 관계를 가진다는 결과(Heisey & Edmeades, 1999)와 부합하였다.

본 연구에서는 생장조절제인 살리실산과 앱시식산의 한발 피해 경감 효과가 유의성있게 나타나지 않았는데, 그 이유는 한발 처리 후 9일이 지난 출용기에 처리하여 수분 부족 스트레스 기작이 이미 상당히 진행되어 ASI를 줄이는 등의 효과가 나타나기 힘들었기 때문으로 사료된다. 따라서 기존 연구(Rao 등, 2012; Saruhan 등, 2012; Zamaninejad 등, 2013)에서와 같이 생장조절제를 한발 스트레스를 받기 전에 처리하여 경감 효과를 검토할 필요가 있다. Zamaninejad 등(2013)은 살리실산을 10~12엽기에 처리하는 것이 가장 효과적이었다고 하였다. 또는 Saruhan 등(2012)과 같이 저농도로 3회에 나누어 처리하는 것이 좋을 수 있다.

### (시험 2) 살리실산 전처리의 찰옥수수 토양수분 스트레스 경감 효과

DuPlessis and Dijkhuis (1967)는 수분 스트레스는 옥수수 수염 생장을 지연시켜 ASI를 높인다고 하였다. 한발 처리를 했을 때 출수기와 출사기 사이의 간격 (ASI)은 5.3일이며, 살리실산 처리구는 5.0~5.3일로 유의한 차이는 보이지 않았다(표 2). Zamaninejad 등 (2013)은 0.5~1.0 mM의 살리실산을 한발 처리 전에 엽면 살포하여 ASI를 1.1일 줄였다고 하였으나, 본 연구에서는 Seo 등 (2014)의 결과에서와 같이 ASI에 대한 살리실산의 처리 효과는 없었다. 이는 품종간 반응 차이일 것으로 사료되나, 더 많은 품종을 대상으로 시험할 필요가 있다.

표 2. 살리실산의 엽면처리가 출수-출사기 간격 (ASI) 및 간장, 착수고에 미치는 영향. SA1, SA2 : 각각 7엽기와 10엽기에 살리실산 전처리.

처 리	ASI <sup>†</sup>	간장, cm	착수고, cm
무처리	5.3±0.6	200.2±7.7	119.6±4.0
살리실산, SA1	5.0±1.0	201.7±7.4	120.9±6.7
살리실산, SA2	5.3±1.0	204.8±7.8	116.6±1.7

<sup>†</sup>평균±표준편차.

살리실산 처리구의 간장은 202~205 cm로 무처리의 200 cm와 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 1). Akter 등 (2014)과 Seo 등 (2014), Zamaninejad 등 (2013)은 한발 처리가 옥수수의 간장을 줄인다고 하였는데, 살리실산의 처리는 줄기 신장 억제에 대한 한발 피해를 줄이는 데에 큰 효과가 없는 것으로 나타났다. 착수고 또한 117~121 cm로 무처리의 120 cm와 차이가 없었다. Seo 등 (2014)은 찰옥수수의 착수고는 한발의 영향을 받지 않는다고 하였다.

살리실산 처리의 이삭장은 16.2~16.4 cm로 무처리에 비해 11.0~12.3% 길었다(표 3). Seo 등 (2014)은 살리실산을 한발 처리 동안에 처리하였을 때 이삭장에 대한 효과가 없었다고 하였는데, 관수 중단 이전에 처리하면 효과가 있는 것으로 보인다. Zamaninejad 등 (2013) 또한 살리실산을 한발 처리보다 먼저 하였을 때 이삭장이 1.7~2.9 cm 증가하였다고 하였다. 이삭경과 열수에 있어서는 유의한 차이를 보이지 않았다.

표 3. 살리실산의 엽면처리가 이삭 특성에 미치는 영향. SA1, SA2 : 각각 7엽기와 10엽기에 살리실산 전처리.

처 리	이삭장, cm <sup>†</sup>	이삭경, mm	열 수
무처리	14.6±0.6 b	39.6±1.2	13.0±0.4
살리실산, SA1	16.2±0.5 a	39.9±0.6	13.3±0.4
살리실산, SA2	16.4±0.7 a	41.0±1.2	13.0±0.1

<sup>†</sup>평균±표준편차. 5% 수준 통계처리.

살리실산을 영양생장기에 처리하였을 때의 옥수수 수량은 6.0~6.1 Mg ha<sup>-1</sup>로 무처리의 5.5 Mg ha<sup>-1</sup>에 비해 8.8~11.3% 증가하였다(그림 6). 7엽기와 10엽기의 처리 시기 사이에는 큰 차이가 없었다. 가뭄에 의한 옥수수의 수량 감소는 출사 후 2~22일의 한발에 45% (Grant 등, 1989), 개화기 10~21일 전부터의 한발에 40~60% (Heisey and Edmeades, 1999)였다. Liu 등 (2004)과 Moghadam 등 (2011), Akter 등 (2014)은 가뭄에 의해 옥수수의 양분 흡수 및 전이가 변형되고, 광합성 동화산물의 공급이 줄어들어 수량이 줄어든다고 하였다. Zamaninejad 등 (2013)은 살리실산의 처리로 동화산물의 생산기관으로부터 축적·소비 기관으로의 전이가 활발해진다고 하였다. Miura and Tada (2014)는 살리실산을 처리하면 활성산 소종, 과산화수소, 칼슘 이온의 축적이 일어나서 기공이 닫혀 가뭄 피해를 줄이며, Syeed 등 (2011)은 살리실산의 전처리는 비생물학적인 스트레스 조건에서 광합성을 증가시킨다고 하였다.

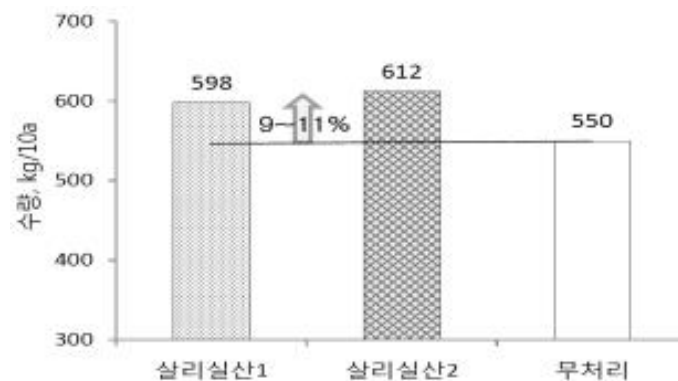


그림 6. 한발 처리시 살리실산의 엽면처리가 찰옥수수 수량에 미치는 영향. 살리실산1, 살리실산2 : 각각 7엽기와 10엽기에 살리실산 전처리.

Seo 등 (2014)은 살리실산을 개화기에 처리하였을 때 옥수수의 한발 피해 경감 효과가 없음을 보고하였으므로, 살리실산의 효과를 높이기 위해서는 영양생장기인 7엽기 또는 10엽기에 웃거름이나 살충제 등과 같이 처리하는 것이 좋을 것으로 사료된다. Akter 등 (2014)은 생장 조절제의 처리 효과는 생식생장기보다 영양생장기에 처리하였을 때 더 높았다고 하였다. 한편, Moghadam 등 (2011)과 Sharafizad 등 (2012)은 한발 조건뿐만 아니라 수분이 부족하지 않을 때에도 살리실산의 수량 증대 효과가 있다고 하였다.

#### 4. 적 요

##### (시험 1) 찰옥수수 한발 스트레스에 대한 살리실산과 앱시식산의 처리 효과

물 자원이 제한되거나 관수 설비가 갖추어지지 않은 곳에서 찰옥수수의 한발 피해를 줄이고자, 종실용 옥수수에 대한 수분 스트레스 경감 효과가 보고되어진 살리실산과 앱시식산의 처리 효과를 살펴보았다. 출용기 9일 전부터 출용 후 14일까지 관수를 중단하였으며, 생장조절제는 출용기에 1회 처리하였다. 살리실산과 앱시식산의 처리 농도는 각각 0.5 mM과 0.1 mM이었다. 한발 처리에 의해 ASI가 3.0~3.3일 늘어났으며, 간장은 47~51 cm, 이삭장은 4.6~5.0 cm, 이삭경은 4.4~5.3 mm, 열수는 1.5~2.0개, 수량은 2.4~2.5 Mg/ha 줄었다. 살리실산과 앱시식산의 처리에 의한 한발 피해의 경감 효과는 뚜렷하지 않았다. 찰옥수수에 대한 살리실산과 앱시식산의 한해 경감 효과를 위해서는 수분 부족 스트레스를 받기 이전에 처리하거나, 저농도로 몇차례에 나누어 처리하는 것이 필요한 지에 대한 추후 검토가 필요하다.

##### (시험 2) 살리실산 전처리의 찰옥수수 토양수분 스트레스 경감 효과

관수 설비가 갖추어지지 않거나 물 자원이 제한된 곳에서 찰옥수수의 한발 피해를 줄이고자, 생장조절제인 살리실산의 처리 효과를 살펴보았다. 출수기 11일 전부터 출수 후 10일까지 관수를 중단하였으며, 살리실산은 영양생장기인 7엽기 또는 10엽기에 3회 처리하였고, 살리실산의 처리 농도는 0.2 mM이었다. 살리실산의 처리구의 ASI, 간장, 착수고는 대조구와 큰 차이가 없었으나, 이삭장을 11.0~12.3% 증가하였으며 수량을 8.8~11.3% 증가시켰다. 살리실산의 처리 효과는 생식생장기보다 영양생장기에 뚜렷하므로, 7엽기 또는 10엽기에 살리실산을 처리하면 찰옥수수의 가뭄 피해를 줄일 수 있다.

#### 5. 인용문헌

- Akter, N., M.R. Islam, M.A. Karim, and T. Hossain. 2014. Alleviation of drought stress in maize by exogenous application of gibberellic acid and cytokinin. *J. Crop Sci. Biotech.* 17:41-48.
- Al-Kaisi, M.M., R.W. Elmore, J.G. Guzman, H.M. Hanna, C.E. Hart, M.J. Helmers, E.W. Hodgson, A.W. Lenssen, A.P. Mallarino, A.E. Robertson, and J.E. Sawyer. 2013. Drought impact on crop production and the soil environment: 2012

- experiences from Iowa. *J. Soil Water Conserv.* 68:19A-24A.
- Amin, A.A., A.A.A. El-Kader, M.A.F. Shalaby, F.A.E. Gharib, E.M. Rashad, and J.A.T. da Silva. 2013. Physiological effects of salicylic acid and thiourea on growth and productivity of maize plants in sandy soil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 44:1141-1155.
- Anjum, S.A., M. Farooq, L.C. Wang, L.L. Xue, S.G. Wang, L. Wang, S. Zhang, and M. Chen. 2011. Gas exchange and chlorophyll synthesis of maize cultivars are enhanced by exogenously-applied glycinebetaine under drought conditions. *Plant Soil Environ.* 57:326-331.
- Ashlaf, M. 2010. Inducing drought tolerance in plants: Recent advances. *Biotech. Advan.* 28:169-183.
- Aslam, M. 2011. Assessment of Physiolgenetic Traits for Drought Tolerance in Maize. VDM Verlag Dr. Muller. Saarbrucken, Germany.
- Ault, T.R., J.E. Cole, J.T. Overpeck, G.T. Pederson, and D.M. Meko. 2014. Assessing the risk of persistent drought using climate model simulations and paleoclimate data. *J. Climate.* 27:7529-7549.
- Bolanos, J. and G.O. Edmeades. 1996. The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. *Field Crops Research* 48:65-80.
- Cakir, R. 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crop Res.* 89:1-16.
- Claassen, M.M. and R.H. Shaw. 1970. Water deficit effects on corn. II. Grain components. *Agron. J.* 62:652-655.
- de Souza T.C., P.C. Magalhaes, E.M. de Castro, P.E.P. de Albuquerque, and M.A. Marabesi. 2013. The influence of ABA on water relation, photosynthesis parameters, and chlorophyll fluorescence under drought conditions in two maize hybrids with contrasting drought resistance. *Acta Physiol. Plant.* 36:515-527.
- Denmead, O.T. and R.H. Shaw. 1960. The effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn. *Agron. J.* 52:272-274.
- DuPlessis, D.P. and F.J. Dijkhuis. 1967. The influence of time lag between pollen shedding and silking on the yield of maize. *South African J. Agri. Sci.* 10:667-674.
- Elwana, M.W.M. and M.A.M. El-Hamahmyb. 2009. Improved productivity and quality associated with salicylic acid application in greenhouse pepper. *Sci. Hort.* 122:521-526.
- Eom, K.C., S.H. Park, and S.Y. Yoo. 2013. Water requirement of maize according to

- growth stage. Korean J. Soil Sci. Fert. 46:16-22.
- Grant, R.F., B.S. Jackson, J.R. Kiniry, and G.F. Arkin. 1989. Water deficit timing effects on yield components in maize. Agron. J. 81:61-65.
- Heisey, P.W. and G.O. Edmeades. 1999. Maize Production in Drought-Stressed Environments: Technical Options and Research Resource Allocation. World Maize Facts and Trends 1997/98. International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT). Mexico, D.F., Mexico. p68.
- Kadioglu, A., N. Saruhan, A. Saglam, R. Terzi, and T. Acet. 2011. Exogenous salicylic acid alleviates effects of long term drought stress and delays leaf rolling by inducing antioxidant system. Plant Growth Regul. 64:27-37.
- Khalili, M. M.R. Naghavi, A.P. Aboughadareh, and H.N. Rad. 2013. Effects of drought stress on yield and yield components in maize cultivars (*Zea mays* L.). Intl. J. Agron. Plant Prod. 4:809-812.
- Korean Statistical Information Service (KOSIS). 2013. [http://kosis.kr/abroad/abroad\\_01List.jsp](http://kosis.kr/abroad/abroad_01List.jsp)
- Liu, F. C.R. Jensen, and M.N. Anderson. 2004. Drought stress effect on carbohydrate concentration in soybean leaves and pods during early reproductive development: its implication in altering pod set. Field Crop Res. 86:1-13.
- Miura, K. and Y. Tada. 2014. Regulation of water, salinity, and cold stress responses by salicylic acid. Frontiers Plant Sci. 5:1-12.
- Moghadam N.M., M.J. Arvin, G.R.K. Nezhad, and K. Maghsoudi. 2011. Effect of salicylic acid on growth and forage and grain yield of maize under drought stress in field conditions. Seed Plant Prod. J. 27:41-55.
- National Institute of Meteorological Research (NIMR). 2011. Climate Change Scenario Report 2011. National Institute of Meteorological Research. Seoul, Korea. p117.
- NeSmith, D.S. and J.T. Ritchie. 1992. Effects of soil water-deficits during tassel emergence on development and yield components of maize (*Zea mays* L.). Field Crops Research 28:251-256.
- Rao, S.R., A. Qayyum, A. Razzaq, M. Ahmad, I. Mahmood, and A. Sher. 2012. Role of foliar application of salicylic acid and L-tryptophan in drought tolerance of maize. J. Animal Plant Sci. 22:768-772.
- Robins, J.S. and C.E. Domingo. 1953. Some effects of severe soil moisture deficits at specific growth stages in corn. Agron. J. 45:618-621.
- Saruhan, N., A. Saglam, and A. Kadioglu. 2012. Salicylic acid pretreatment induces drought tolerance and delays leaf rolling by inducing antioxidant systems in maize genotypes. Acta Physiol. Plant. 34:97-106.

Seo, Y., K. Park, E. Chang, S. Ryu, J. Park, and K. Kim. 2014. Effect of salicylic acid and abscisic acid on drought stress of waxy corn. Korean. J. Crop Sci. 59:54-58.

Sharafizad, M., A. Naderi, S.A. Siadat, T. Sakinejad, and S. Lak. 2012. Effect of salicylic acid pretreatment on yield, its components and remobilization of stored material of wheat under drought Stress. J. Agric. Sci. 4:115-125.

Shaw, R.H. 1976. Water use and requirements of maize—a review. In Agrometeorology of the Maize (Corn) Crop. World Meteorological Organization No 481. pp119-134.

Syed, S. N. Anjum, R. Nazar, N. Iqbal, A. Masood, and N. Khan. 2011. Salicylic acid-mediated changes in photosynthesis, nutrients content and antioxidant metabolism in two mustard (*Brassica juncea* L.) cultivars differing in salt tolerance. Acta Physiol. Plant 33:877-886.

Tufail, A., M. Arfan, A.R. Gurmani, A. Khan, and A. Bano. 2013. Salicylic acid induced salinity tolerance in maize (*Zea mays*). Pak. J. Bot. 45:75-82.

Wang B., Z. Li, A.E. Eneji, X. Tian, Z. Zhai, J. Li, and L. Duan. 2008. Effects of coronatine on growth, gas exchange traits, chlorophyll content, antioxidant enzymes and lipid peroxidation in maize (*Zea mays* L.) seedlings under simulated drought stress. Plant Prod. Sci. 11:283-290.

Zamaninejad, M., S.K. Khorasani, M.J. Moeini, and A.R. Heidarian. 2013. Effect of salicylic acid on morphological characteristics, yield and yield components of corn (*Zea mays* L.) under drought condition. Euro. J. Exp. Bio. 3:153-161.

Zargar, S.M. and A. Agnihotri. 2013. Impact of silicon on various agro-morphological and physiological parameters in maize and revealing its role in enhancing water stress tolerance. Emir. J. Food Agric. 25:138-141.

## 6. 연구결과 활용

연도(연차)	활용구분	제 목
2014(2년)	영농활용 논문게재	살리실산을 활용한 찰옥수수 한발 피해 경감(자체) 찰옥수수 한발 스트레스에 대한 살리실산과 앱시식산의 처리 효과

## 7. 연구원 편성

구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도	
					'13	'14
과제책임자	옥수수연구소	농업연구사	서영호	과제 총괄 수행	○	○
공동연구자	옥수수연구소	농업연구관	박기진	연구수행 자문	○	○
	”	농업연구사	류시환	결과분석 지원	○	○
	작물연구과	”	고병대	생육·수량 조사	○	○
	옥수수연구소	일반직	이상민	옥수수 재배관리	○	○