

어젠다코드	1 - 1 - 3		구분	세부완결	
기술분야코드	V2	기술유형코드	E01	작목구분코드	CR-02-CR21
과제종류	기관고유		과제번호	LP0040882020	
과제명	기후변화에 따른 가뭄 및 폭염 대응 기술 개발				
과제책임자	성명		직급	소속기관 및 부서	
	장은하		농업연구관	강원도원 환경농업연구과	
연구기간	2018 ~ 2021		참여연구기관	-	
세부과제명			부서	세부책임자	연구기간
1) 작물의 가뭄 저항성 증진 기술 개발			환경농업연구과	장은하	'18~'20
2) 고랭지배추의 폭염 대응 기술 개발			환경농업연구과	최병곤	'19~'21
색인용어	기후변화, 가뭄, 폭염, 고랭지				

ABSTRACT

Reference evapotranspiration (ET₀) can be estimated using Hargreaves equation with temperature data alone. The equation has a tendency to overestimate for regions of high relative humidity and to underestimate for regions of wind speed greater than 3 m/s. The study was conducted to determine Hargreaves equation coefficient in 11 regions in Gangwondo by comparing ET₀ determined by modified Hargreaves equation with ET₀ by the FAO Penman-Monteith equation. The Penman-Monteith ET₀ values were determined using the weather data including solar duration, air temperature, humidity, and wind speed for 11 weather stations in Gangwondo from 2007 to 2017. The modified Hargreaves coefficients for inland regions such as Chuncheon, Hongcheon, Cheorwon, Wonju, Inje, Yeongwol, Daegwallyeong, and Taebaek ranged from 0.00181 to 0.00199, less than the default value 0.0023. The modified coefficients for coastal regions such as Gangneung, Sokcho, and Donghae ranged from 0.00275 to 0.00302, greater than the default value. Modified Hargreaves ET₀ using modified coefficients reduced root mean square error (RMSE) from 0.84 mm/d to 0.69 mm/d and increased Nash-Sutcliffe coefficient (NSC) from 0.69 to 0.78 compared with original Hargreaves ET₀. Therefore the modified Hargreaves coefficients obtained from the study can provide more accurate ET₀ estimates than using original default value by considering regional climate characteristics in Gangwondo.

In order to increase drought resistance when cultivating crops, plant growth regulators, and effective microorganisms, etc were treated during the seedling nursery period and then the effects of increasing drought resistance after planting were compared. In conclusion, it was found that treatment with plant growth regulators, and Chlorella, etc reduced the stress of water shortage in growing crops. In other words, it is expected that it will increase drought resistance without irrigation and alleviate the sudden decrease in growth and yield under conditions of insufficient precipitation.

1 연구목표

강원도내 강수량은 최근 10년 동안 평년 대비 11% 감소하였는데, 특히, 6월달 강수량은 22% 감소하였다. 따라서, 미래에는 강수량의 변이성이 크고 특히, 봄 가뭄 위험성이 높을 것으로 예측된다. 이러한 가뭄 극복을 위해서는 관수가 가장 효과적인 가뭄 대책이나, 강원도내 관개전은 212km로 20.5%에 불과한 실정이므로 농업용수 관리 및 관개 분야에 기본적으로 필요한 잠재증발산량 추정이 요구된다. 또한, 지하수 관정 등 농업용수 개발은 많은 예산을 투입해야 하므로 농가 현장에서 바로 활용할 수 있는 경종적 재배방법 개발이 필요하다. 따라서, 본 연구의 목표는 작물의 안정생산으로 농가 피해 최소화를 위해 농업용수 관리 및 관개에 필요한 잠재증발산량을 추정하고, 수자원과 관수시설 등의 문제로 관개를 할 수 없는 조건에서 작물을 재배할 때에 가뭄 저항성을 높이기 위하여, 옥수수, 배추, 콩, 고추 4작목을 공시하여 육묘기간 처리하는 가뭄 저항성 유도제와 토양 보수력 증진제 선발을 통한 가뭄 저항성 증진 종합 처리 기술을 개발하여 기후변화 대응 농산물 안정생산체계를 구축하는데 있다.

2 재료 및 방법

〈제1세부과제: 작물의 가뭄 저항성 증진 기술 개발〉

(시험 1) 온도자료로 강원도 잠재증발산량 추정방법 설정(2018)

본 연구의 목적은 강원도 농업용수 관리 및 관개 분야에 기본적으로 필요한 기본증발산량 추정의 정확도를 높이는 데 있다. 이를 위해 FAO PM 공식과 강원도 11지점의 최근 기상 자료로 산정된 기본증발산량을 기준으로 하여 Hargreaves 공식의 계수를 보정하였고, 그 외 방법인 PMT 공식과 비교해본 후, 오차가 적고 정확도가 높은 보정된 Hargreaves 공식을 이용하여 강원도 미래 기본증발산량을 예측하였다.

(시험 2) 작물 가뭄 저항성 유도제 처리 효과 구명(2018)

본 연구는 2018년도에 강원도 춘천시 강원도농업기술원 토양환경연구실 친환경종합분석실험실과 비닐하우스에서 옥수수, 배추 2작목을 공시하여 작물의 육묘기간에 가뭄 저항성 증진을 위한 프라이밍 처리를 하고 한발 처리 후 가뭄 스트레스 지표물질과 생육 및 수량특성을 총 3차 시험을 통해 종합 검토하여 작목별 가뭄 저항성 유도제를 선발하였다. 작물의 가뭄 저항성 증진을 위한 프라이밍 처리 물질은 해외 연구자료를 참고하여 성장조절물질과 유용미생물 등을 선발하였다. 선발한 가뭄 저항성 유도제의 작목별 처리 농도, 시기, 횟수는 총 4회의 포트시험을 거쳐서 각각 17처리를 선정하였다(표 1). 작물의 가뭄 스트레스 지표물질은 식물이 건조 스트레스를 받으면 세포 내 활성산소 생성으로 지질과산화가 진행된다는 점에 착안하여 그 중 가장 측정하기 용이한 과산화수소와 지질과산화물, 그리고, 상대수분함량을 측정하였다.

표 1. 작목별 가뭄 저항성 유도제 처리 내용

번호	가뭄 저항성 유도제	옥수수	배추	콩	고추
1	Acetic acid	20mM	0.5mM	2mM	0.5mM
2	Acetic acid	30mM	2mM	20mM	2mM
3	CaCl ₂	1mM	1mM	1mM	1mM
4	MgCO ₃	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%
5	K ₂ SO ₄	0.05%	0.05%	0.05%	0.05%
6	K ₂ SO ₄	0.1%	0.1%	0.2%	0.2%
7	KH ₂ PO ₄	0.05%	0.05%	0.05%	0.05%
8	KH ₂ PO ₄	0.1%	0.1%	0.2%	0.2%
9	Urea	0.1%	0.1%	0.2%	0.2%
10	Salicylic acid	1mg/L	1mg/L	10mg/L	2mg/L
11	Salicylic acid	5mg/L	5mg/L	100mg/L	10mg/L
12	퇴비차	10배액	10배액	원액	5배액
13	퇴비차	20배액	20배액	5배액	10배액
14	클로렐라	250배액	250배액	500배액	500배액
15	Kluyvera sp. CL-2	107cfu/ml	107cfu/ml	107cfu/ml	107cfu/ml
16	Bacillus methylophilus GH1-13	107cfu/ml	107cfu/ml	107cfu/ml	107cfu/ml
17	Bacillus vallismortisBS07M	107cfu/ml	107cfu/ml	107cfu/ml	107cfu/ml
18	증류수(대조구)	증류수	증류수	증류수	증류수

(시험 3) 토양 보수력 증진 효과 구명(2018)

본 연구는 2018년도에 강원도 춘천시 강원도농업기술원 토양환경연구실 친환경종합분석실험실과 비닐하우스에서 옥수수, 배추 2작목을 공시하여 수분 보유력이 우수한 유기성 자재를 토양 2종(사양토, 양토)에 각각 혼합 처리를 하고 한발 처리 후 토양의 물리성과 작물의 가뭄 스트레스 지표물질 그리고, 생육 및 수량특성을 총 3차 시험을 통해 종합 검토하여 토양 보수력 증진제를 선발하였다. 토양 보수력 증진제는 시중에 유통되고 있는 수분 보유력이 우수한 유기성 자재 등을 위주로 선발하였고 (표 2), 이에 대해서 토양 수분함량과 용적밀도, 내수성 입단을 측정하였다.

표 2. 토양 보수력 증진제 처리 내용

번호	유기성 자재	제품명(성분) - 업체명
1	바이오차(BC) A	숯나라(나무숯80%, 제오라이트20%) - (주)상림
2	바이오차(BC) B	아마존숯(아미노산 첨가)
3	바이오차(BC) C	아마존숯(물 첨가)

번호	유기성 자재	제품명(성분) - 업체명
4	바이오차(BC) D	아마존숯(황토색 미생물제 첨가)
5	바이오차(BC) E	왕겨
6	바이오차(BC) F	콩 잔재물
7	바이오차(BC) G	아마존숯- 경동에너지
8	부식산(HA)	엔비올입상부식산(토탄 leonardite 100%) - (주)누보
9	축분퇴비(AMC)	참그린퇴비(계분 15%, 우분20, 돈분15, 톱밥 10, 버섯배지14, 원두박10 등) - 의성서부영농조합법인
10	유박(OC)	땅심유박(아주까리유박 65%, 채종유박15%, 미강20%) - (주)한국협화
11	바이오폴리머(BP)	

(시험 4) 가뭄 저항성 증진 종합 처리 효과 구명(2019)

본 연구는 2019년도에 강원도 춘천시 강원도농업기술원 토양환경연구실 비닐하우스에서 옥수수, 배추 2작목을 공시하여 최종 선발한 작목별 가뭄 저항성 유도제(2~3일 간격 3회 주요 염면처리)와 토양 보수력 증진제(바이오차 200kg/10a)를 처리하고, 비닐 멀칭하여 정식 후에 작물의 가뭄 스트레스 지표물질 그리고, 생육 및 수량특성을 조사하여 가뭄 저항성 증진 종합 처리 효과를 비교하였다. 가뭄 저항성 증진 종합 처리 내용은 표 3과 같다.

표 3. 작목별 가뭄 저항성 증진 종합 처리 내용

처리	옥수수	배추	비고
종합1	황산칼리 1%+바이오차+멀칭	클로렐라 250배액+바이오차+멀칭	
종합2	황산칼리 1%+바이오차	클로렐라 250배액+바이오차	
종합3	황산칼리 0.5%+인산칼리 0.05% +바이오차	클로렐라 500배액+살리실산 5mg/L +바이오차	관수구 외 무관수
관 수	1회/주 관수	1회/주 관수	
대 조	-	-	

(시험 5) 작물 가뭄 저항성 유도제 처리 효과 구명(2019)

본 연구는 2019년도에 강원도 춘천시 강원도농업기술원 토양환경연구실 친환경종합분석실험실과 비닐하우스에서 콩, 고추 2작목을 공시하여 작물의 육묘기간에 가뭄 저항성 증진을 위한 프라이밍 처리(2~3일 간격 3회)를 하고 한발 처리 후 가뭄 스트레스 지표물질과 생육 및 수량특성을 총 3차 시험을 통해 종합 검토하여 작목별 가뭄 저항성 유도제를 선발하였다. 작물의 가뭄 저항성 증진을 위한 프라이밍 처리 물질은 해외 연구자료를 참고하여 생장조절물질과 유용미생물 등을 선발하였다. 선발한 가뭄 저항성 유도제의 작목별 처리 농도, 시기, 횟수는 총 4회의 포트시험을 거쳐서 각각 17처리를 선정하였다(표 1). 작물의 가뭄 스트레스 지표물질은 식물이 건조 스트레스를 받으면 세포 내 활성산소 생성

으로 지질과산화가 진행된다는 점에 착안하여 그 중 가장 측정하기 용이한 과산화수소와 지질과산화물, 그리고, 상대수분함량을 측정하였다.

(시험 6) 토양 보수력 증진 효과 구명(2019)

본 연구는 2019년도에 강원도 춘천시 강원도농업기술원 토양환경연구실 친환경종합분석실험실과 비닐하우스에서 콩, 고추 2작목을 공시하여 수분 보유력이 우수한 유기성 자재를 토양 2종(사양토, 양토)에 각각 혼화 처리를 하고 한발 처리 후 토양의 물리성과 작물의 가뭄 스트레스 지표물질 그리고, 생육 및 수량특성을 총 3차 시험을 통해 종합 검토하여 토양 보수력 증진제를 선발하였다. 토양 보수력 증진제는 시중에 유통되고 있는 수분 보유력이 우수한 유기성 자재인 바이오차(200kg/10a), 유박(300), 축분 퇴비(1,000)를 사용하였다.

(시험 7) 가뭄 저항성 증진 종합 처리 효과 구명(2020)

본 연구는 2020년도에 강원도 춘천시 강원도농업기술원 토양환경연구실 비닐하우스에서 배추, 콩, 고추 3작목을 공시하여 최종 선발한 작목별 가뭄 저항성 유도제(2~3일 간격 3회 유묘 엽면처리)와 토양 보수력 증진제(바이오차 200kg/10a)를 처리하고, 비닐 멀칭하여 정식 후에 작물의 가뭄 스트레스 지표물질 그리고, 생육 및 수량특성을 조사하여 가뭄 저항성 증진 종합 처리 효과를 비교하였다. 가뭄 저항성 증진 종합 처리 내용은 표 4와 같다.

표 4. 작목별 가뭄 저항성 증진 종합 처리 내용

처리	배 추	콩	고 추
종합1	클로렐라 250배액	인산칼리0.2%	살리실산 10mg/L
종합2	살리실산 10mg	퇴비차 5배액	인산칼리 0.2%
종합3	클로렐라 500배액 +살리실산 5mg/L	인산칼리 0.1% +퇴비차 10배액	살리실산 5mg/L +인산칼리 0.1%
관 수	1회/주 관수	1회/주 관수	1회/주 관수
대 조	-	-	-

3 결과 및 고찰

<제1세부과제: 작물의 가뭄 저항성 증진 기술 개발>

(시험 1) 온도자료로 강원도 잠재증발산량 추정방법 설정(2018)

본 연구의 목적은 강원도 11지점에서 온도 차이의 지수는 바꾸지 않고 Hargreaves 계수만 보정하여 지역적 기후 특성을 반영함으로써 기본증발산량의 추정의 정확도를 높이는 데 있다. 이를 위하여 FAO Penman-Monteith 공식과 11지점의 최근 (2007~2017) 기상 자료로 산정된 기본증발산량을 기준

으로 하여 Hargreaves 공식의 계수를 보정하였으며, 그 결과를 보고하는 바이다.

Hargreaves 계수 보정 Hargreaves 공식에 따른 강원도 11지점의 기본증발산량 추정값이 FAO Penman-Monteith 방법의 기본증발산량과 차이가 최소가 되도록 Hargreaves 계수를 보정한 결과를 표 5에 나타내었다. 춘천 등 내륙 영서지방은 0.00181~0.00199로 기본값인 0.0023보다 낮은 반면, 강릉 등 해안 영동지방은 0.00275~0.00302로 기본값에 비해서 높았다.

표 5. Hargreaves 공식의 보정된 계수(보정 전: 0.0023 동일)

지 역	보정 계수	지 역	보정 계수	지 역	보정 계수
춘 천	0.00187	인 제	0.00195	강 릉	0.00302
홍 천	0.00181	영 월	0.00183	속 초	0.00275
철 원	0.00192	대관령	0.00218	동 해	0.00284
원 주	0.00193	태 백	0.00199		

Hargreaves 계수를 기본값인 0.0023으로 기본증발산량을 계산하였을 때와 표 5의 보정값으로 계산하였을 때의 FAO Penman-Monteith 방법의 기본증발산량과 비교한 RMSE와 NSC를 표 6에 제시하였다. Hargreaves 계수를 보정함으로써 오차의 크기를 나타내는 RMSE는 0.74~1.17 mmd-1에서 0.48~1.15 mmd-1로 낮아졌고, 추정 정확도를 나타내는 NSC는 0.56~0.77에서 0.56~0.90으로 높아졌다.

표 6. 보정 전후 Hargreaves와 FAO PM 방법의 증발산량 추정값의 RMSE와 NSC

지 역	보정 전		보정 후	
	RMSE	NSC	RMSE	NSC
춘 천	0.76	0.75	0.48	0.90
홍 천	0.88	0.69	0.49	0.90
철 원	0.76	0.76	0.55	0.87
원 주	0.75	0.77	0.55	0.88
인 제	0.75	0.74	0.52	0.88
영 월	0.91	0.63	0.53	0.87
대관령	0.74	0.74	0.72	0.76
태 백	0.78	0.68	0.62	0.80
강 릉	1.17	0.56	1.15	0.57
속 초	0.87	0.66	0.97	0.57
동 해	0.92	0.60	0.97	0.56
평 균	0.84	0.69	0.69	0.78

강원도 11지점에서 Hargreaves 계수를 보정하기 전과 후의 FAO Penman-Monteith 방법의 기본증발산량과의 산포도를 회귀식과 함께 그림 1에 나타내었다. 계수를 기본값인 0.0023으로 하였을 때에는

회귀식의 기울기가 내륙 영서지방은 1.12~1.22로 12~22% 과대 추정하는 경향을 보였으나, 계수를 보정하였을 때에는 0.95~0.98로 낮아져서 2~5% 과소 추정하였다. 한편 해안 영동지방은 계수를 보정하기 전에는 기울기가 0.79~0.88로 12~21% 과소 추정하였으나, 보정한 다음에는 0.93~0.94로 6~7% 과소 추정하는 것으로 줄었다.

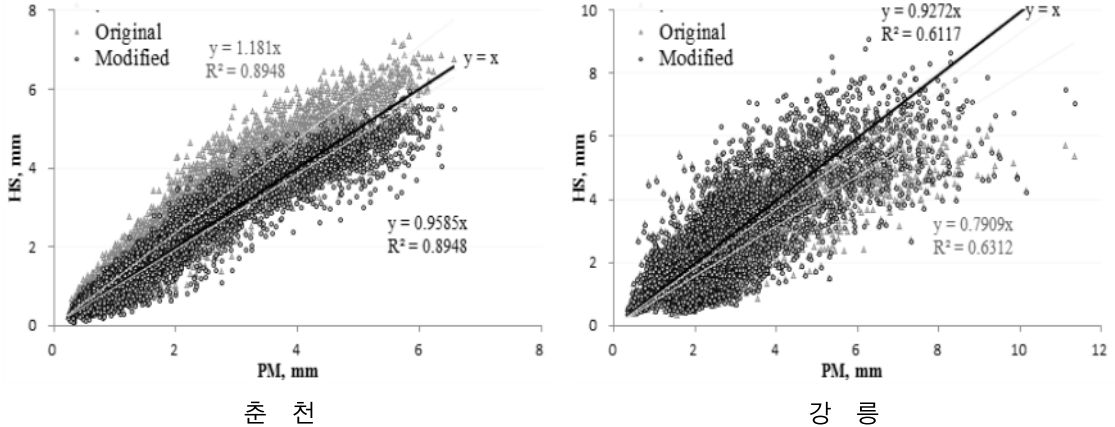


그림 1. Hargreaves 계수 보정 전·후와 FAO PM 방법의 기본증발산량과의 산포도와 회귀식

강원지역에서 미래의 기본증발산량을 예측하기 위하여, 기상청에서 제공한 남한 상세 기후변화 시나리오의 Representative Concentration Pathways (RCP) 4.5와 RCP 8.5의 기온 자료와 이 연구에서 조정된 Hargreaves 계수를 이용하여 2040년, 2070년, 2100년의 기본증발산량을 추정하였다. 이 연구에서 이용한 기후변화 시나리오는 HadGEM3-RA (Atmospheric Regional Climate model of Hadley Centre Global Environment Model version 3) 지역기후 모델을 통해 생산되었다 (Kim et al., 2012).

기후변화 시나리오의 기온 자료와 이 연구의 조정된 Hargreaves 계수를 이용하여 강원지역의 2040년, 2070년, 2100년의 기본증발산량을 추정한 결과, 2007년부터 2017년까지의 기본증발산량의 평균값과 비교하여 2040년에는 2~7%, 2070년에는 7~8%, 2100년에는 8~19% 증가하는 것으로 나타났다(표 7). 특히 강릉, 속초, 동해 등 해안 영동지역은 2040년에는 9~16%, 2070년에는 15~17%, 2100년에는 18~31% 증가하여 내륙 영서지역에 비해 증가 폭이 높았다.

표 7. RCP 4.5와 RCP 8.5 시나리오에서 2040, 2070, 2100의 기본증발산량(mm)

지역	RCP 4.5			RCP 8.5			2007~2017
	2040	2070	2100	2040	2070	2100	
춘천	857	904	898	898	902	978	850
홍천	870	909	905	906	916	990	880
철원	858	895	893	884	902	979	870
원주	908	947	942	948	955	1,035	901
인제	878	927	916	915	925	1,018	887

지 역	RCP 4.5			RCP 8.5			2007~ 2017
	2040	2070	2100	2040	2070	2100	
영 월	871	915	913	919	922	1,001	887
대관령	805	864	858	841	853	965	830
태 백	815	856	857	845	857	953	833
강 룡	1,232	1,285	1,320	1,300	1,312	1,459	1,128
속 초	1,060	1,124	1,139	1,129	1,140	1,286	969
동 해	1,111	1,171	1,215	1,184	1,193	1,342	1,028
평 균	933	982	987	979	989	1,091	915

(시험 2) 작물 가뭄 저항성 유도제 처리 효과 구명(2018)

본 연구에서는 수자원과 관수시설 등의 문제로 관개할 수 없는 조건에서 작물을 재배할 때에 가뭄 저항성을 높이기 위하여, 육묘 과정에서 성장조절제, 유용미생물 등을 처리한 다음 정식 후에 가뭄에 대한 저항성 증진 효과를 비교하였다.

옥수수를 72공 육묘 플러그 포트에 재배한 어린묘(2~3엽)에 황산칼리 1%와 인산칼리 0.05% 2처리를 2~3일 간격 3회 스프레이로 엽면살포를 한 후 비닐하우스에 7월 24일 정식하여 1회 관수하고, 한발 처리한 다음 9월 28일 수확하여 처리별로 생육 및 수량특성을 조사하고, 잎의 과산화수소 (H₂O₂)와 malondialdehyde (MDA), 상대수분 (RWC) 함량을 분석하여, 황산칼리 1% 1처리를 3차 선발하였다. 황산칼리의 처리는 무처리와 대비하여 간장과 이삭중이 12% 증가하였으며, 과산화수소 함량과 MDA 생성량이 낮고 상대수분은 높았다(표 8, 그림 2).

표 8. 옥수수 생육 및 수량 특성(정식 7. 24., 수확 9. 28.)

처 리	간장 (cm)	생체중 (g/주)	출용기 (월.일)	출사기 (월.일)	이삭장 (cm)	이삭폭 (cm)	이삭중 (g/이삭)
황산칼리	166	449	8. 29.	8. 31.	18.0	4.0	165
인산칼리	160	446	8. 29.	8. 31.	18.4	4.0	158
무처리	148	364	8. 29.	9. 1.	16.4	4.0	148

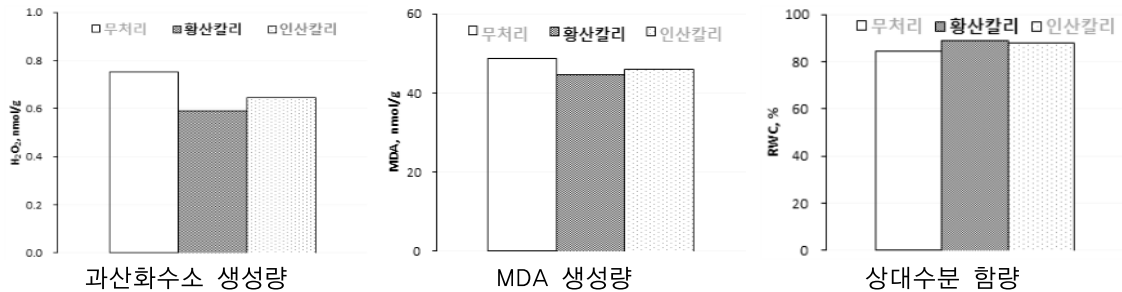


그림 2. 옥수수의 가뭄스트레스 지표물질 생성량 비교

배추를 72공 육묘 플러그 포트에 재배한 어린묘(2~3엽)에 살리실산 5mg/L와 클로렐라 250배액 2처리를 2~3일 간격 3회 스프레이로 엽면살포를 한 후 비닐하우스에 8월 31일 정식하여 1회 관수하고, 한발치러한 다음 11월 8일 수확하여 처리별로 생육 및 수량특성을 조사하고, 잎의 과산화수소 (H₂O₂)와 malondialdehyde (MDA), 상대수분 (RWC) 함량을 분석하여, 클로렐라 250배액 1처리를 3차 선발하였다. 클로렐라의 처리는 무처리와 대비하여 생체중이 26% 증가하였으며, 과산화수소 함량과 MDA 생성량이 낮고 상대수분은 높았다(표 9, 그림 3).

표 9. 배추 수량 특성(정식 8.31., 수확 11.8.)

처 리	포기 길이 (cm)	포기 폭 (cm)	생체중 (kg/주)
살리실산	49.4	17.8	2.4
클로렐라	50.8	18.7	2.6
무 처 리	47.3	16.7	2.1

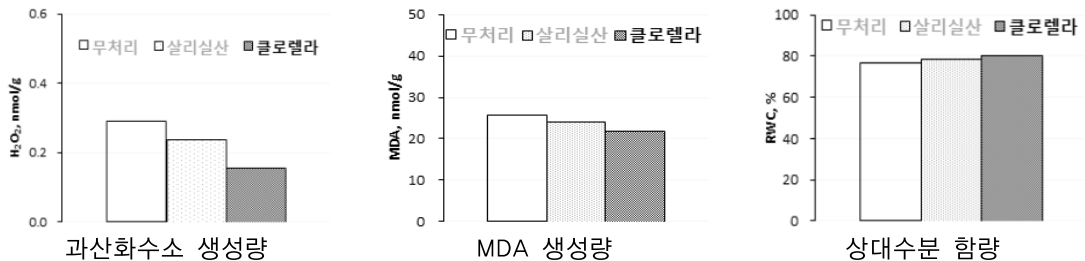


그림 3. 배추의 가뭄스트레스 지표물질 생성량 비교

(시험 3) 토양 보수력 증진 효과 구명(2018)

본 연구에서는 수자원과 관수시설 등의 문제로 관개할 수 없는 조건에서 작물을 재배할 때에 가뭄 저항성을 높이기 위하여, 수분 보유력이 우수한 유기성 자재를 토양에 혼화 처리한 다음 토양의 물리성과 작물의 가뭄에 대한 저항성 증진 효과를 비교하였다.

비닐하우스에서 토양에 기비와 2종의 유기성 자재(바이오차, 유박)를 각각 혼화 처리하고, 옥수수과 배추를 정식하여 1회 관수하고, 한발치러한 다음 수확하여 처리별로 생육 및 수량특성을 조사하고, 잎의 과산화수소 (H₂O₂)와 malondialdehyde (MDA), 상대수분 (RWC) 함량을 분석하여, 바이오차 1처리를 3차 선발하였다. 유기성 자재 처리량 기준은 바이오차는 200kg/10a, 유박은 300 이었다.

옥수수의 경우 바이오차의 처리가 무처리와 대비하여 이삭중이 4% 증가하였으며, 과산화수소 함량은 23%, MDA 생성량은 8% 낮았다(표 10, 그림 4).

표 10. 옥수수 생육 및 수량 특성

처 리	간장 (cm)	생체중 (g/주)	출웅기 (월.일)	출사기 (월.일)	이삭장 (cm)	이삭폭 (cm)	이삭중 (g/이삭)
바이오차	150	381	8. 29.	9. 1.	17.0	4.0	154
유 박	152	424	8. 29.	8. 31.	17.3	4.0	158
무처리	148	364	8. 29.	9. 1.	16.4	4.0	148

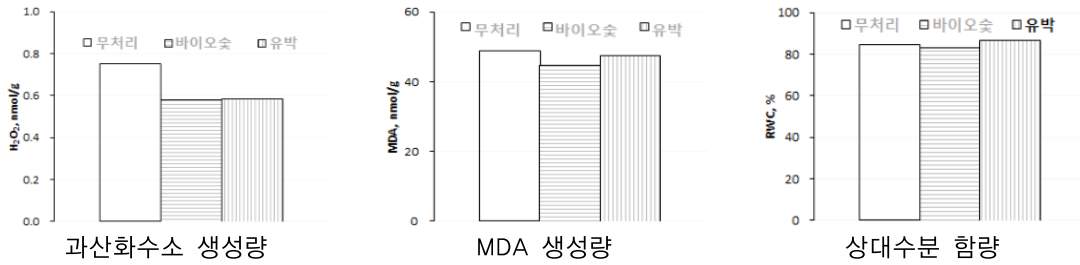


그림 4. 옥수수 가뭄스트레스 지표물질 생성량 비교

배추의 경우 바이오차와 유박의 처리가 무처리와 대비하여 생체중이 24~30% 증가하였으며, 과산화수소 함량과 MDA 생성량은 높았다(표 11).

표 11. 배추 수량 특성

처 리	포기 길이 (cm)	포기 폭 (cm)	생체중 (kg/주)
바이오차	48.4	19.0	2.7
유 박	47.3	19.2	2.6
무 처 리	47.3	16.7	2.1

(시험 4) 가뭄 저항성 증진 종합 처리 효과 구명(2019)

본 연구는 수자원과 관수시설 등의 문제로 관개할 수 없는 조건에서 작물을 재배할 때에 가뭄 저항성을 높이기 위하여, 최종 선발한 작목별 가뭄 저항성 유도제와 토양 보수력 증진제를 처리하고, 비닐 멀칭하여 정식 후에 가뭄 저항성 증진 종합 처리 효과를 비교하였다.

옥수수의 경우 가뭄 저항성 증진 종합 처리 시 가뭄 스트레스 지표물질인 과산화수소와 MDA 생성량이 대조 보다 낮아, 종합 처리 효과가 있는 것으로 판단되었다(그림 5).

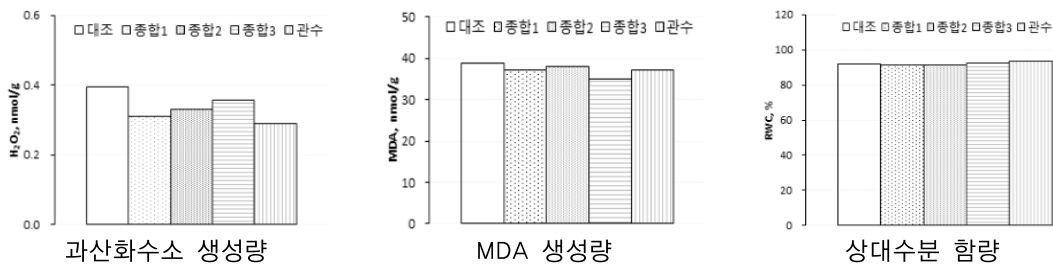


그림 5. 옥수수 가뭄스트레스 지표물질 생성량 비교

옥수수 생육 및 수량 특성을 보면, 멀칭처리인 종합1(황산칼리 1%+바이오차+멀칭)의 출용기, 출사기 등이 관수에 비해 1일 늦었지만, 대조와 그 외의 종합처리에 비해서는 2~6일 빠른 것으로 조사되었다. 종합1의 이삭중은 관수 대비 7% 감소하였지만 대조 대비 115% 증가하여 가뭄 저항성 증진 종합 처리로 유망하였다(표 12).

표 12. 옥수수 생육 및 수량 특성(7. 5.)

처 리 ^z	간장 (cm)	출웅기 (월.일)	출사기 (월.일)	착수고 (cm)	이삭장 (cm)	착립장 (cm)	이삭폭 (cm)	이삭중 (g/이삭)
관 수	202	6. 4.	6. 6.	81.0	22.7	19.8	4.5	209.6
대 조	114	6.10.	6.13.	54.0	17.5	11.9	3.8	90.3
종합1	147	6. 5.	6. 7.	64.0	21.0	18.0	4.0	194.4
종합2	126	6.10.	6.12.	60.0	18.9	14.2	4.0	119.7
종합3	136	6. 7.	6. 9	59.0	20.8	16.3	4.3	161.4

z: 종합1 - 황산칼리 1%+바이오차+멸칭, 종합2 - 황산칼리 1%+바이오차, 종합3 - 황산칼리 0.5%+인산칼리 0.05%+바이오차

(시험 5) 작물 가뭄 저항성 유도제 처리 효과 구명(2019)

콩의 경우 인산칼리, 퇴비차의 처리가 무처리와 대비하여 생체중과 협증이 각각 56~66%, 54~72% 증가하였고, 과산화수소와 MDA 생성량은 각각 13~29%, 1~9% 낮아, 가뭄 저항성 증진 효과가 있는 것으로 판단되었다(표 13, 그림 6).

표 13. 콩 생육 및 수량 특성(정식 8.3., 수확 10.16.)

처 리	초장 (cm)	생체중 (g/주)	협수 (개/주)	협중 (g/주)
관 수	50.3	238.2 (177)	65.4	143.8 (173)
대조(무처리)	46.7	134.7 (100)	58.2	83.3 (100)
인산칼리 0.2%	44.3	214.0 (159)	69.8	128.2 (154)
퇴비차 5배액	43.9	210.1 (156)	73.6	138.7 (167)
인산칼리 0.1% +퇴비차 10배액	43.0	224.2 (166)	76.4	143.6 (172)

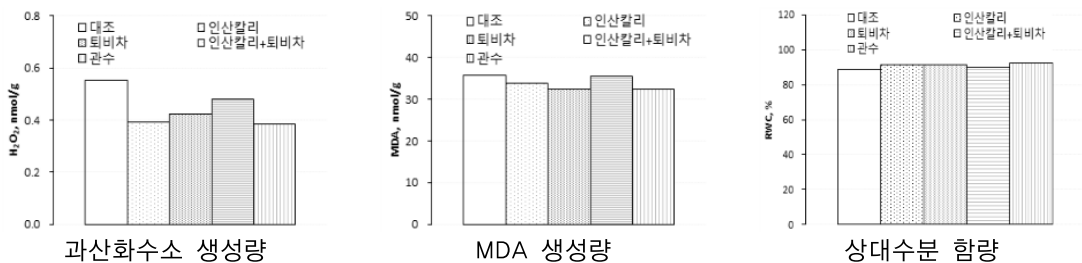


그림 6. 콩의 가뭄스트레스 지표물질 생성량 비교

고추의 경우 인산칼리, 살리실산의 처리가 무처리와 대비하여 생체중과 수확과중이 각각 16~42%, 18~53% 증가하였고, 과산화수소와 MDA 생성량은 각각 6~7%, 6~18% 낮아, 가뭄 저항성 증진 효과가 있는 것으로 판단되었다(표 14, 그림 7).

표 14. 고추 생육 및 수량 특성(정식 8.3., 수확 10.16.)

처 리	초장 (cm)	생체중 (g/주)	수확과수 (개/주)	수확과중 (g/주)
관 수	117.3	732.0 (341)	33.8	438.5 (360)
대조(무처리)	89.0	214.7 (100)	16.4	121.8 (100)
인산칼리 0.2%	88.6	248.2 (116)	18.9	144.2 (118)
살리실산 10mg/L	95.2	302.2 (141)	17.8	186.7 (153)
인산칼리 0.1% + 살리실산 5mg/L	94.4	304.8 (142)	22.0	172.3 (141)

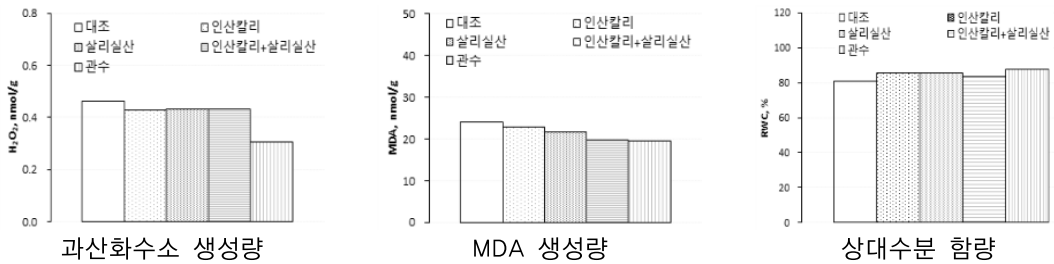


그림 7. 고추의 가뭄스트레스 지표물질 생성량 비교

(시험 6) 토양 보수력 증진 효과 구명(2019)

토양(사양토, 양토)에 기비와 바이오차(BC)-E 등 4종의 유기성 자재를 각각 혼화 처리하여 500cm² 포트에 담고, 콩과 고추를 정식하여 1회 관수하고, 정식 후 30일간 한발처리한 다음 수확하여 처리별로 생육특성을 조사하여, 바이오차 1처리를 최종 선발하였다.

(시험 7) 가뭄 저항성 증진 종합 처리 효과 구명(2020)

배추 시설포장에서의 가뭄 저항성 증진 종합 처리 시 가뭄 스트레스 지표물질인 과산화수소수와 MDA(지질과산화물)의 생성량은 대조 보다 종합처리 모두에서 적게 생성되어 종합처리의 효과가 있는 것으로 판단되었고, 그 중 종합3이 가장 적게 생성되었다. 배추의 상대수분 함량은 관수구가 가장 높았고, 종합3 > 종합2, 종합1 > 대조 순으로 낮았다(그림 8).

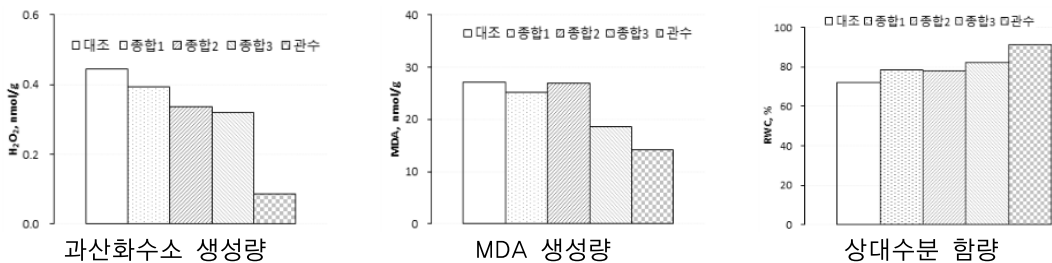


그림 8. 배추 가뭄스트레스 지표물질 생성량 비교(5. 4.)

배추의 생육 및 수량특성을 보면, 종합3(클로렐라 500배액+살리실산 5mg/L+바이오차+멀칭)의 주중(전체 무게)은 관수 대비 45% 감소하였지만, 대조 대비 27% 증가하여 가뭄 저항성 증진 처리로 유망하였다(표 15).

표 15. 배추 생육 및 수량 특성(수확 5. 7.)

처리 ¹⁾	엽수(매) ²⁾		구고(cm)	구폭(cm)	지상부 무게(kg) ³⁾	주중 ⁴⁾		
	바깥잎	안쪽잎				(kg)	대비(%)	
종합1	13	70	18.6	14.3	0.90	1.73	54	124
종합2	9	47	14.0	10.7	1.75	1.35	42	96
종합3	13	73	18.1	14.4	0.94	1.78	55	127
관수	11	60	23.7	16.5	2.38	3.21	100	229
대조	13	55	17.2	13.2	0.71	1.40	44	100

1) : 종합1 - 클로렐라 250배액+바이오차+멀칭, 종합2 - 살리실산 10mg/L+바이오차+멀칭
 종합3 - 클로렐라 500배액+살리실산 5mg/L+바이오차+멀칭

고추 시설포장에서의 가뭄 저항성 증진 종합 처리 시 가뭄 스트레스 지표물질인 과산화수소수와 MDA(지질과산화물)의 생성량은 대조 보다 종합처리 모두에서 적게 생성되어 종합처리의 효과가 있는 것으로 판단되었고, 그 중 종합2가 가장 적게 생성되었다(그림 9).

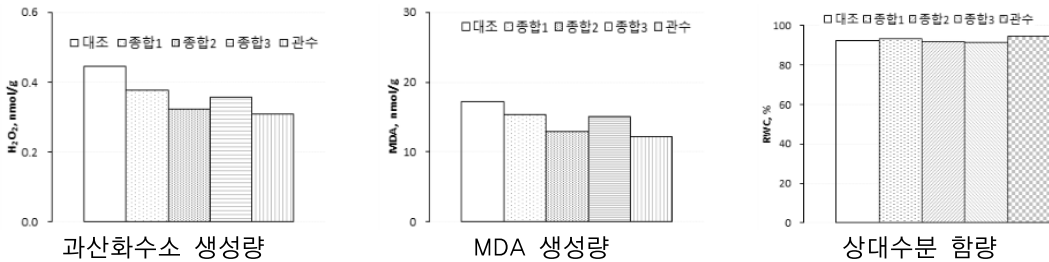


그림 9. 고추 가뭄스트레스 지표물질 생성량 비교(5. 4.)

고추의 생육 및 수량특성을 보면, 종합2(인산칼리 0.2%+바이오차+멀칭)의 과중(상품 무게)은 관수 대비 11% 감소하였지만, 대조 대비 20% 증가하여 가뭄 저항성 증진 처리로 유망하였다(표 16).

표 16. 고추 생육 및 수량 특성(수확 7.13.~11.05.)

처리 ¹⁾	초장 (cm)	경경 (mm)	분지수 (개)	비상품		상 품		대비(%)	
				수량 (개/주)	과중 (g/주)	수량 (개/주)	과중 (g/주)		
종합1	142.8	17.4	13.7	69.7	800.7	53.7	862.5	113	84
종합2	163.8	18.0	14.4	66.4	803.6	55.4	911.1	120	89

처리 [↓]	초장 (cm)	경경 (mm)	분지수 (개)	비상품		상 품		대비(%)	
				수량 (개/주)	과중 (g/주)	수량 (개/주)	과중 (g/주)		
종합3	148.9	17.6	14.5	68.2	802.5	53.0	863.3	113	84
관수	196.0	18.0	14.4	75.1	1,023.8	56.9	1,028.7	135	100
대조	147.5	17.0	14.2	52.1	636.5	58.4	762.1	100	74

↓ : 종합1 - 살리실산 10mg/L+바이오차+멀칭, 종합2 - 인산칼리 0.2%+바이오차+멀칭
 종합3 - 살리실산 5mg/L+인산칼리 0.1%+바이오차+멀칭

가. 콩 시설포장에서의 가뭄 저항성 증진 종합 처리 효과(하우스, 8m²/구)

가뭄 저항성 증진 종합 처리 시 가뭄 스트레스 지표물질인 과산화수소수와 MDA(지질과산화물)의 생성량은 대조 보다 종합처리 모두에서 적게 생성되어 종합처리의 효과가 있는 것으로 판단되었고, 그 중 종합3이 가장 적게 생성되었다. 콩의 상대수분 함량은 처리 간 차이가 거의 없었다(그림 10).

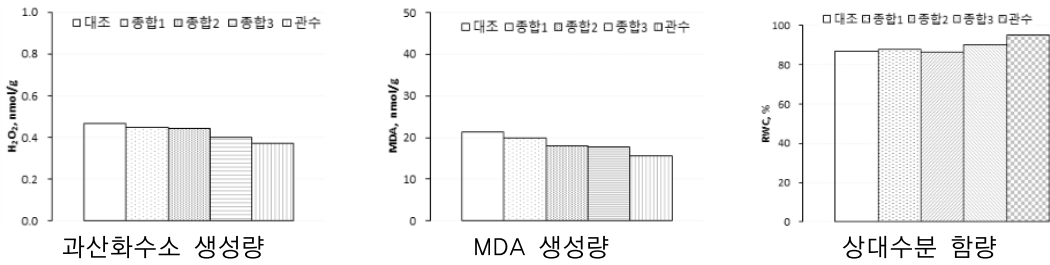


그림 10. 콩 가뭄스트레스 지표물질 생성량 비교(7. 6.)

콩의 생육 및 수량특성을 보면, 종합3(인산칼리 0.1%+퇴비차 10배액+바이오차+멀칭)의 종실중은 관수 대비 10% 감소하였지만, 대조 대비 28% 증가하여 가뭄 저항성 증진 처리로 유망하였다(표 17).

17. 콩 생육 및 수량 특성(수확 10.12.)

처리 [↓]	경장 [↓] (cm)	주경절수 [↓] (절)	분지수 (개)	협수 [↓] (개/주)	립수 [↓] (개/주)	백립중 (g)	종실중 (g/주)	대비(%)	
종합1	60.7	10.7	12.7	16.5	274.0	29.5	80.8	114	81
종합2	65.0	10.7	12.7	16.8	289.1	30.0	86.6	122	86
종합3	61.6	10.3	12.7	16.1	293.1	30.9	90.5	128	90
관수	66.8	10.6	12.7	17.1	300.0	33.8	100.3	141	100
대조	64.2	10.1	12.8	15.1	256.0	27.7	70.9	100	71

↓ : 종합1 - 인산칼리 0.2%+바이오차+멀칭, 종합2 - 퇴비차 5배액+바이오차+멀칭
 종합3 - 인산칼리 0.1%+퇴비차 10배액+바이오차+멀칭

4 적 요

〈제1세부과제: 작물의 가뭄 저항성 증진 기술 개발〉

(시험 1) 온도자료로 강원도 잠재증발산량 추정방법 설정(2018)

- 가. 기온, 상대습도, 풍속, 일사량을 모두 측정한 강원도내 11지점을 대상으로, 최근 11년의 기상자료와 FAO Penman-Monteith 공식으로 기본증발산량을 산정하였다.
- 나. 이 값을 기준으로 하여 Hargreaves 공식의 계수를 보정하였는데, 보정된 Hargreaves 계수는 춘천 등 영서지방은 0.00181~0.00199로 기본값인 0.0023보다 낮았다. 반면에, 강릉 등 영동지방은 0.00275~0.00302로 기본값에 비해서 높았다.
- 다. Hargreaves 계수를 지역별 기후 특성을 반영하여 보정함으로써 오차의 크기를 나타내는 RMSE는 0.84에서 0.69로 낮아졌고, 추정 정확도를 나타내는 NSC는 0.69에서 0.78로 높아졌다.
- 라. 이와 같이 강원도의 지역적 기후 특성을 반영함으로써 기본증발산량의 추정이 정밀해지고 신뢰도가 높아질 것으로 판단된다. 따라서 본 연구의 결과는 강원지역에서 농업용수 운용 및 관개, 수자원 관리 등에 유용할 것으로 기대한다.

(시험 2) 작물 가뭄 저항성 유도제 처리 효과 구명(2018)

- 가. 18처리 가운데 가뭄 저항성을 높이는 효과가 큰 8처리를 1차 선발하였다.
- 나. 옥수수와 배추의 생육 및 가뭄 스트레스 지표물질 함량을 고려하여 옥수수에서는 황산칼리와 인산칼리를, 배추에서는 살리실산과 클로렐라를 2차 선발하였다.
- 다. 옥수수에 황산칼리 1%를 3회 유묘기에 엽면처리하여 이삭중이 12% 증가하였으며, 과산화수소와 MDA 함량은 낮아졌으며, 상대수분함량은 높아졌다.
- 라. 배추에 클로렐라 250배액을 3회 유묘기에 엽면처리하여 생체중은 26% 증가하였고, 과산화수소와 MDA 함량은 낮아졌으며, 상대수분함량은 높아졌다.

(시험 3) 토양 보수력 증진 효과 구명(2018)

- 가. 바이오차 7종, 부식산, 축분퇴비, 유박, 바이오폴리머 등 11종의 유기성 자재 가운데 바이오차 2종을 1차 선발하였다.
- 나. 옥수수 정식 전에 바이오차를 10a당 200kg 처리하였을 때 이삭중이 증가하고, 과산화수소 함량이 낮아졌다.
- 다. 배추는 생체중이 증가하였으나, 과산화수소와 MDA 함량은 높아졌다.

(시험 4) 가뭄 저항성 증진 종합 처리 효과 구명(2019)

- 가. 가뭄 처리 시설에서의 관수구(주 1회 관수)의 수분함량 그래프는 1주일 주기로 변동하지만 시험수행 기간 중 관수를 실시하지 않은 그 외 처리는 수분함량이 서서히 감소하였다.

- 나. 옥수수 생육과 수량을 보면, 가뭄 스트레스 지표물질인 과산화수소, 지질과산화물(Malodialdehyde)의 생성량은 대조에 비하여 종합처리 모두에서 적었다.
- 다. 멀칭처리인 종합1은 출용기, 출사기 등이 관수에 비해 1일 늦었지만, 대조와 그 외의 종합처리에 비해서는 2~6일 빠른 것으로 조사되었고, 이삭중은 관수 대비 7% 감소하였지만 대조 대비 115% 증가하여 가뭄 저항성 증진처리로 유망하였다.
- 라. 배추 생육과 수량을 보면, 가뭄 저항성 증진 종합처리 배추의 상대수분함량은 대조 보다 약간 높은 상태를 유지하였다. 가뭄 스트레스 지표물질인 과산화수소와 MDA의 생성량은 대조 보다 낮아, 종합처리의 효과가 있는 것으로 판단되었다.

(시험 5) 작물 가뭄 저항성 유도제 처리 효과 구명(2019)

- 가. 콩 가뭄 저항성 유도제는 퇴비차 5배액, 인산칼리 0.2% 용액, 고추 가뭄 저항성 유도제는 인산칼리 0.2%, 살리실산 10mg/L를 최종 선발하였다.
- 나. 선발된 유도제의 콩 가뭄 저항성 증진효과를 검증해 본 결과, 관수구와 비교하여 종합2, 종합3에서 초장은 작았으나 협수와 협중 등 수량에서는 관수구와 크게 차이가 나지 않았다. 식물체의 과산화수소와 MDA 생성량은 대조에 비하여 적어 인산칼리와 퇴비차가 콩의 가뭄저항성을 증진시키는 효과가 있음을 알 수 있다.
- 다. 선발된 유도제의 고추 가뭄저항성 증진효과를 검증해 본 결과, 관수와 무관수 처리간에 생육 및 수확량에 큰 차이를 보였다.. 관수구와 종합처리간의 생육 및 수량차이가 대조와 종합처리간의 차이보다 큰 것으로 나타났다.

(시험 6) 토양 보수력 증진 효과 구명(2019)

- 가. 바이오차(BC)-E 등 4종의 유기성 자재 가운데 바이오차 1종을 최종 선발하였다.
- 나. 콩과 고추 정식 전에 바이오차를 10a당 200kg 처리하였을 때 초장 및 생체중이 증가하였다.

(시험 7) 가뭄 저항성 증진 종합 처리 효과 구명(2020)

- 가. 배추는 가뭄 스트레스 지표물질인 과산화수소수와 MDA(지질과산화물)의 생성량은 대조 보다 종합처리 모두에서 적게 생성되어 종합처리의 효과가 있는 것으로 판단되었고, 그 중 종합3이 가장 적게 생성되었다.
- 나. 배추의 생육 및 수량특성을 보면, 종합3(클로렐라 500배액+살리실산 5mg/L+바이오차+멀칭)의 주중(전체 무게)은 관수 대비 45% 감소하였지만, 대조 대비 27% 증가하여 가뭄 저항성 증진처리로 유망하였다.
- 다. 콩과 고추는 재배기간이 길기 때문에 관수구 외의 다른 처리구(대조, 종합1, 종합2, 종합3)는 한발 피해가 회복이 힘들 정도로 심해질 때 재관수 하였고, 시험수행 기간 중 토양수분 함량 그래프는 관수구(주 1회 관수)의 경우 1주일 주기로, 그 외 처리구(월 1회 관수)는 1달 주기로 변동하였다.

- 라. 고추는 과산화수소수와 MDA의 생성량은 종합2가 가장 적게 생성되었고, 생육 및 수량특성을 보면, 종합2(인산칼리 0.2%+바이오차+멀칭)의 과중(상품 무게)은 관수 대비 11% 감소하였지만, 대조 대비 20% 증가하여 가뭄 저항성 증진 처리로 유망하였다.
- 마. 콩은 과산화수소수와 MDA의 생성량은 종합3이 가장 적게 생성되었고, 생육 및 수량특성을 보면, 종합3(인산칼리 0.1%+퇴비차 10배액+바이오차+멀칭)의 종실중은 관수 대비 10% 감소하였지만, 대조 대비 28% 증가하여 가뭄 저항성 증진 처리로 유망하였다.

5 인용문헌

- Allen, R., L.S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. FAO irrigation and drainage paper No. 56 Crop evapotranspiration. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Cai, J., Y. Liu, T. Lei, and L.S. Pereira. 2007. Estimating reference evapotranspiration with the FAO Penman-Monteith equation using daily weather forecast messages. *Agric. For. Meteorol.* 145:22-35.
- Cordova, M., G. Carrillo-Rojas, P. Crespo, B. Wilcox, and R. Celleri. 2015. Evaluation of the Penman-Monteith (FAO 56 PM) method for calculating reference evapotranspiration using limited data. *Mt. Res. Dev.* 35:230-239.
- Hargreaves, G.H. and Z.A. Samani. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Appl. Eng. Agric.* 1:96-99.
- Jensen, M.E., R.D. Burman, and R.G. Allen. 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirements. American Society of Civil Engineers Manuals and Reports on Engineering. Practice No. 70. Am. Soc. Civil Eng. New York.
- Kim, M.K., M.S. Han, D.H. Jang, S.G. Baek, W.S. Lee, Y.H. Kim, and S. Kim. 2012. Production technique of observation grid data of 1 km resolution. *J. Climate Res.* 7:55-68.
- Kim, S.J., M.I. Kim, C.H. Lim, W.K. Lee, and B.J. Kim. 2017. Applicability analysis of FAO56 Penman-Monteith methodology for estimating potential evapotranspiration in Andong dam watershed using limited meteorological data. *J. Clim. Change Res.* 8:125-143.
- Lawrence, M.G. 2005. The relationship between relative humidity and the dewpoint temperature in moist air - a simple conversion and applications. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 86:225-234.
- Lee, K.H. and J.H. Park. 2008. Calibration of the Hargreaves equation for the reference evapotranspiration estimation on a nation-wide scale. *Korean J. Civil Eng.* 28:675-681.
- Lee, S.H., K.Y. Jung, H.C. Chun, Y.D. Choi, and H.W. Kang. 2018. Response of soybean (*Glycine max* L.) to subsurface drip irrigation with different dripline placements at a sandy-loam soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 51:79-89.
- Moon, J.W., C.G. Chung, and D.R. Lee. 2013. Parameter regionalization of Hargreaves equation based on climatological characteristics in Korea. *J. Korea Water Resour. Assoc.* 46:933-946.

Nam, H.H., M.C. Seo, H.S. Cho, Y.H. Lee, and Y.J. Seo. 2017. Growth and yield responses of corn (*Zea mays* L.) as affected by growth period and irrigation intensity. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 50:674-683.

Nash, J.E. and J.V. Sutcliffe. 1970. River flow forecasting through conceptual models. I: A discussion of principles. *J. Hydrol.* 10:282-287.

Pereira, L.S., R.G. Allen, M. Smith, and D. Raes. 2015. Crop evapotranspiration estimation with FAO56: past and future. *Agric. Water Manage.* 147:4-20.

Raziei, T. and L.S. Pereira. 2013. Estimation of ET₀ with Hargreaves-Samani and FAO-PM temperature methods for a wide range of climates in Iran. *Agric. Water Manage.* 121:1-18.

Todorovic, M., B. Karic, and L.S. Pereira. 2013. Reference evapotranspiration estimate with limited weather data across a range of Mediterranean climates. *J. Hydrol.* 481:166-176.

Vanderlinden, K., J.V. Giraldez, and M.V. Meirvenne. 2004. Assessing reference evapotranspiration by the Hargreaves methods in southern Spain. *J. Irrig. Drain. Eng.* 130:184-191.

Yoon, P.R. and J.Y. Choi. 2018. Assessment of reference evapotranspiration equations for missing and estimated weather data. *J. Korean Soc. Agric. Eng.* 60:15-25.

6 연구결과 활용

연도(연차)	활용방안	제 목
2018(1년)	영농정보	옥수수과 배추의 가뭄 저항성을 높이는 황산칼리와 클로렐라 선발(자체)
	논문발표	기본증발산량 추정을 위한 강원도 지점별 Hargreaves 계수 보정(자체)
		황산칼리, 클로렐라 엽면처리에 의한 옥수수과 배추의 가뭄저항성 증대(자체)
기 타	세미나 2회, 홍보 2회(자체)	
2019(2년)	영농정보	옥수수의 가뭄 대응 종합 처리 기술(중앙)
	영농정보	콩과 고추의 가뭄저항성을 높이는 처리 선발(자체)
	논문게재	기본증발산량 추정을 위한 강원도 지점별 Hargreaves 계수(자체)
2020(3년)	영농정보	배추, 콩, 고추의 가뭄 저항성 증진 종합처리 기술(자체)

성과지표명		연 도		1년차(2018)		2년차(2019)		3년차(2020)		계	
		목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적		
논문게재	비SCI			1	1					1	1
논문발표	국내	2	2	1	1					3	3
영농활용	정보	1	1	2	2	1	1			4	4
홍 보			2								2
세미나			2								2
계		3	7	4	4	1	1			8	12

7 연구원 편성

구 분	소 속	직 급	성 명	수행업무	참여년도		
					'18	'19	'20
과제책임자	환경농업연구과	농업연구관	장은하	과제 총괄	-	-	○
	환경농업연구과	농업연구사	최병곤	"	-	○	-
	작물연구과	농업연구사	서영호	"	○	-	-
1세부책임자	환경농업연구과	농업연구관	장은하	시험수행 및 평가	-	-	○
	환경농업연구과	농업연구사	최병곤	"	-	○	-
	작물연구과	농업연구사	서영호	"	○	-	-
공동연구자	환경농업연구과	농업연구사	허수정	현장조사 지원	○	○	○
	환경농업연구과	"	윤병성	"	○	○	○
	환경농업연구과	"	이남길	"	-	-	○
	환경농업연구과	"	홍수영	시료분석 지원	○	○	○
	환경농업연구과	농업연구관	정태성	평가분석 지원	-	-	○
	옥수수연구소	"	홍대기	평가분석 지원	○	○	-