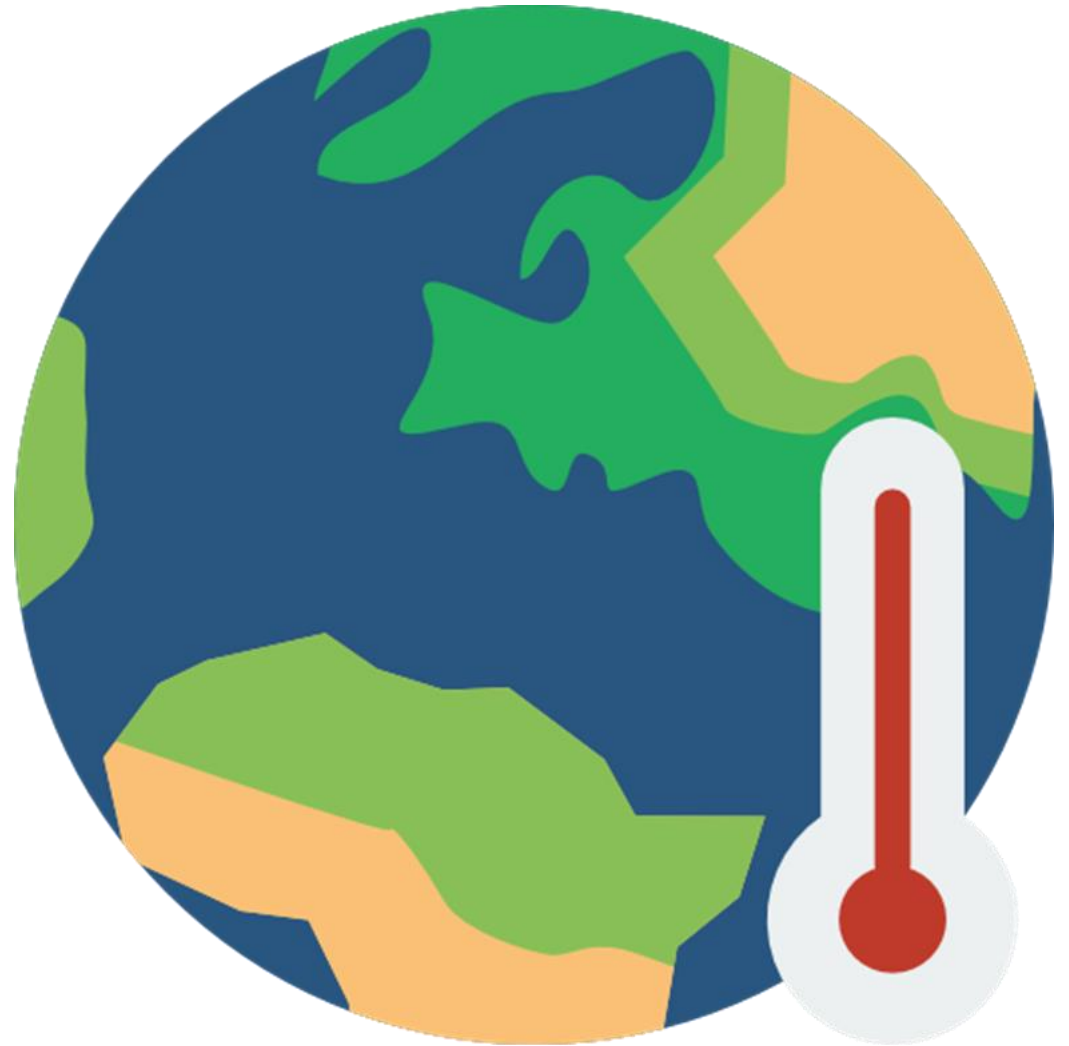


기후변화에 따른 고추 병해 발생 현황과 금후 대응 방안

- 김흥태
- 충북대학교 농업생명환경대학
식물 의학과



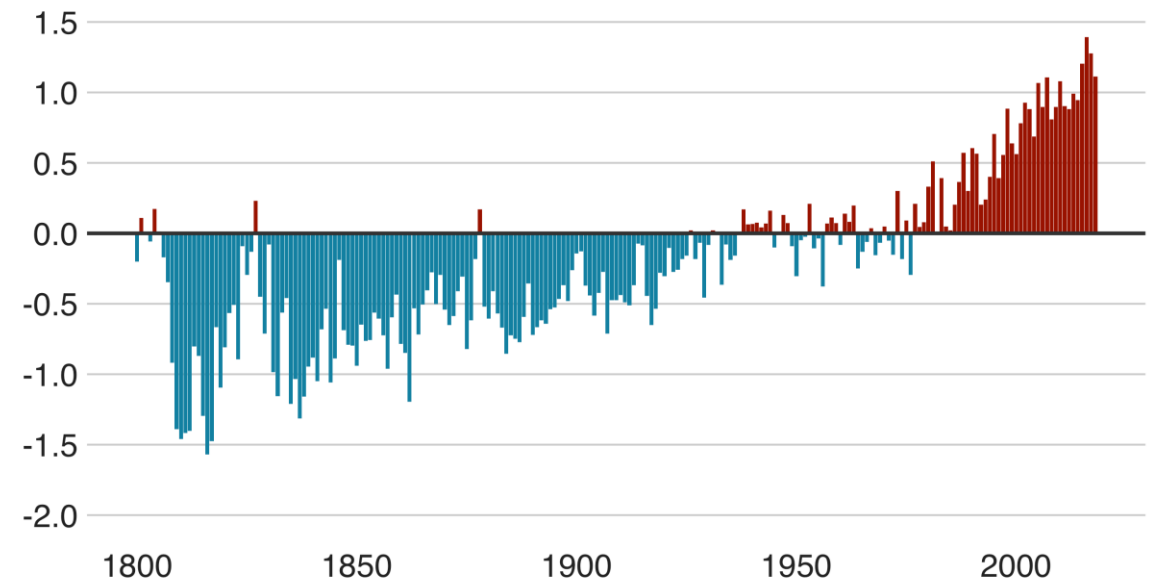
[https://paradigmaps.geo.uni-halle.de/bikasa/
content/lerneinheiten](https://paradigmaps.geo.uni-halle.de/bikasa/content/lerneinheiten)

기후 변화란?

- 기후에는 자연적인 변동이 있음
- 그런데 현재 기온이 다른 때보다 빠르게 상승하고 있음
- 이런 현상은 온실효과와 관련됨

The world has been getting warmer

Annual mean land temperature above or below average (°C)



Note: Average is calculated from 1951-1980 land surface temperature data

Source: University of California Berkeley

BBC

연도별 평균기온 변화

<https://www.bbc.com/korean/news-51159389>

기후 변화란?

● 온실효과

- 지구 대기가 태양 에너지를 가둬 빠져나가지 못하게 하는 것
- 지구 표면에서 우주로 방출되는 태양 에너지는 온실가스에 흡수되고, 다시 대기권 사방으로 배출됨

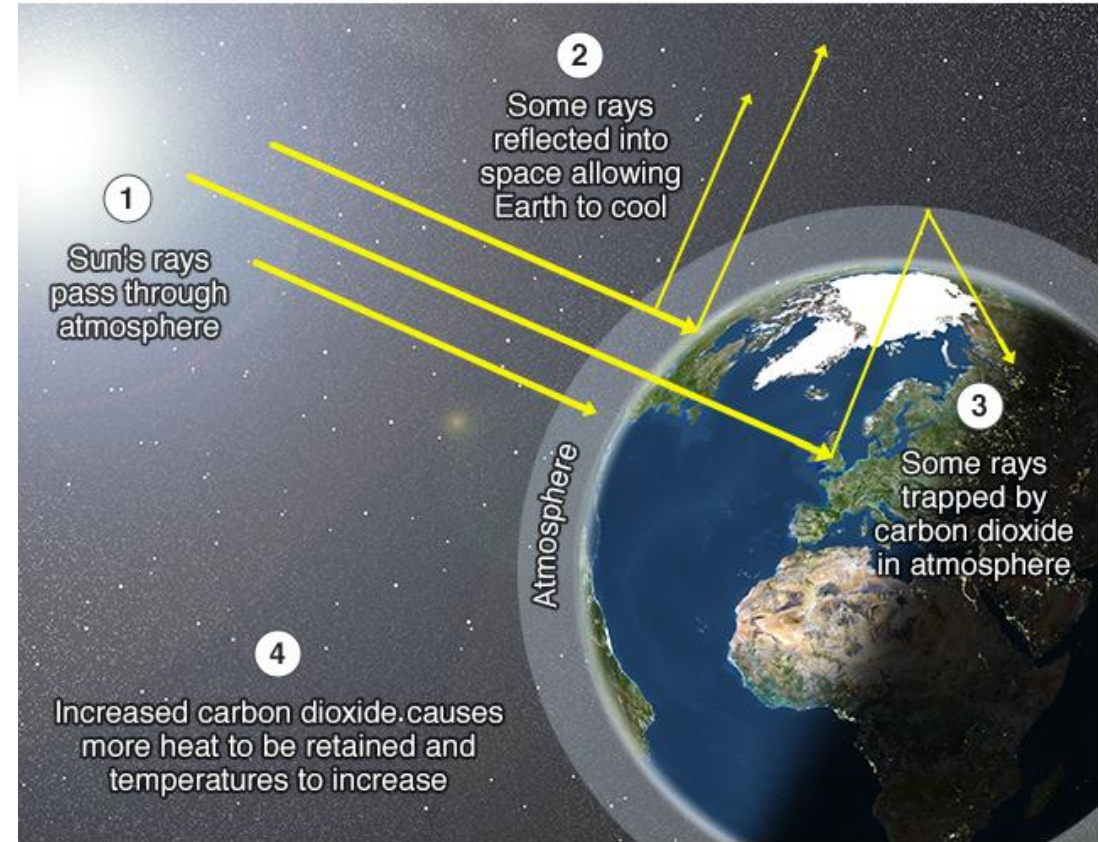
● 이 에너지는 지구의 표면과 대기층을 데워 줌.

- 이 에너지가 아예 없다면, 지구는 약 30도 정도 더 추워져서, 생명체가 살기 어려움

● 전문가들의 생각

- 인류가 자연적인 온실 효과를 증폭하고 있음
- 산업과 농업에서 나오는 온실가스가 더 많은 태양 에너지를 가두면서, 기온이 평소보다 더 오른다는 것.

The greenhouse effect



BBC

온실 효과

<https://www.bbc.com/korean/news-51159389>

기후 변화란?

- 온실가스란 무엇인가?

- 온난화에 가장 큰 영향을 미치는 온실가스는 수증기 (수증기는 대기권에 며칠 정도만 있다가 사라짐.)
- 이산화탄소, 메탄, 이산화질소

- 문제는 아주 오랫동안 남아 있는 이산화탄소

- 이산화탄소는 자연적으로 바다 같은 천연 저장고에 의해서만 다량으로 흡수될 수 있음.
이런 이유에서 이산화탄소 농도가 산업화 이전 수준으로 되돌아가려면 수백 년이 필요
- 인류가 만들어내는 이산화탄소 배출은 대부분 화석 연료를 태울 때 나옴.
탄소를 흡수하는 숲이 벌목되어 썩은 채로 남아 있거나 불에 타게 되면, 저장되었던 탄소가 방출되며 지구 온난화를 가중시킴.

- 대기 중의 이산화탄소 농도는 30% 이상 증가

- 산업혁명(1750년경)이 시작된 이래, 이산화탄소 농도는 30% 이상 증가됨
- 메탄과 이산화질소 같은 다른 온실가스도 인간의 활동에서 배출
하지만 그 양은 이산화탄소보다 적음

기후 변화란?

- 기상

일시적인 날씨의 현상을 지칭하는 것

- 기후

특정 지역에 장기간 지속적으로 되풀이 되며 나타나는 평균적인 기상 현상을 말하는 것
일반적으로 30년간의 평균을 이용

- 기상 변화란?

현재 발생하는 날씨의 변화

- 기후 변화란?

- 세계적 규모의 기후 시스템(climate system) 변화
- 지역적 기후가 시간의 흐름에 따라 최소 수십 년 이상 동안 점진적으로 변화하는 것
- 10년에서부터 수백만 년이라는 기간 동안 대기의 평균적인 상태가 새로운 기후 패턴으로 변화하는 것

기후 변화 (서론)

- **이상기상에 대한 사회적·경제적 피해가 급증하면서, 기후변화 대응이 미래 아젠다로 부각**

2100년까지 기후변화에 따른 경제적 피해는 세계 GDP의 5 – 20%에 달할 것으로 예상 (스턴 보고서, 2006)

- **우리나라도 기후변화 추세 지속 시 막대한 피해 발생이 예상됨**

극한 기온 및 호우 등 이상기상이 증가하고, 아열대 기후대가 확대될 것으로 예상

기후변화 지속 시 2100년까지 약 2,800조원의 피해가 예상 (한국환경연구원, 2009)

기온이 4°C 상승할 경우 GDP의 5.6% 감소 예상 (환경부, 2011)

- **기후 조건에 민감한 농업이 기후변화에 적응하지 못한다면.....?**

농업의 미래는 불투명함

이상기상 예측과 대응책 부재 시 대규모 피해 발생 우려

한반도 100년의 기후 변화 (국립기상과학원, 11-1360620-000132-01)

1. 기온

- **지난 106년간 우리나라의 연평균기온 변화량은 $+0.18^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 으로 상승.**
 - 연평균 최고·최저기온 변화량은 각각 $+0.12^{\circ}\text{C}/10\text{년}$, $+0.24^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 으로 상승.
 - 계절적으로 겨울($+0.25^{\circ}\text{C}/10\text{년}$)과 봄($+0.24^{\circ}\text{C}/10\text{년}$)의 기온상승이 가장 뚜렷함.
 - 최근 10년 동안 기온상승은 봄, 여름, 가을이 주도함.
- **기온상승에 따라 고온과 관련된 극한기후지수는 증가하고 저온과 관련된 극한기후지 수는 감소함**
 - 여름일수는 $+1.2\text{일}/10\text{년}^*$, 열대야일수는 $+0.9\text{일}/10\text{년}^*$ 으로 증가 추세.
 - 서리일수는 $-3.2\text{일}/10\text{년}^*$, 결빙일수는 $-0.9\text{일}/10\text{년}^*$, 한랭일은 $-1.9\text{일}/10\text{년}^*$ 으로 감소 추세.
 - 여름의 평균 최고기온과 관련된 극한기후지수(폭염일, 온난일)는 변화 없음.
- **최근 10년 동안은 저온과 관련된 극한기후현상이 다소 증가함**
 - 최근 30년간의 추세와 다른 경향을 보임

2. 강수

- **지난 106년 동안 연 강수량은 증가(+16.3mm/10년)하였으나, 강수일수는 변화 없음.**
 - 여름 강수량의 증가가 가장 컸으며(+11.6mm/10년), 다른 계절은 큰 변화 없음.
 - 최근 10년 동안은 모든 계절에서 강수량이 다소 감소함.
- **강한 강수는 증가하고 약한 강수는 감소하여 강수의 양극화를 보임.**
 - 일 강수량 10mm 이상의 강수빈도와 강수량은 증가
 - 특히 80mm이상의 강한 강수의 증가가 뚜렷함.
 - 강수일수는 변화가 없으나, 강한 강수(80mm이상)의 강수일수가 증가함.
 - 최근 10년 동안은 약한 강수가 증가하고 강한 강수가 감소하여 과거 106년 동안의 경향과 다름.

3. 계절

- **지난 106년 동안 우리나라의 계절 시작일**

- 봄은 13일, 여름은 10일 빨라졌음.
- 가을과 겨울의 시작일은 각각 9일, 5일이 늦어졌음.

- **계절 지속일**

- 여름은 98일에서 117일로 19일 길어졌음.
- 겨울의 지속일은 109일에서 91일로 18일 짧아졌음.
- 봄과 가을의 지속일은 큰 변화가 없었음.

기후 변화 예측 시나리오

기후변화 시나리오별 2100년 한국 아열대 면적 전망

아열대지역

강력한 저감 시나리오 (RCP2.6)

아열대 면적
약 17%



안정화 시나리오 (RCP4.5)

아열대 면적
약 21%



무기후정책 시나리오 (RCP8.5)

아열대 면적
약 52%



RCP2.6: 인간 활동에 의한 영향을 지구 스스로 회복 가능한 경우

RCP4.5: 온실가스 저감 정책이 상당히 실현되는 경우

RCP8.5: 현재 추세(저감없이)로 온실가스가 배출되는 경우

자료/ 기상청

연합뉴스

기후 변화 예측 시나리오

- **기후변화 시나리오란?**

- 기후 강제력에 의한 미래의 변화에 대한 전망과 정보

기후 강제력; 기후시스템에 영향을 미쳐 기후변화를 야기하는 모든 요인들

온실가스 배출량의 변화, 토지이용의 변화, 에어로졸 배출량의 변화 등

- 미래의 변화를 전망하기 위하여, 미래 온실가스 농도와 기후시스템을 수치화한 기후변화예측모델을 이용하여 계산한 미래기후(기온, 강수, 습도, 바람 등)에 대한 정보
- 미래 기후변화로 인한 영향을 평가하고 피해를 최소화하는데 활용할 수 있는 선제적인 정보

- **기후변화 시나리오의 목적**

기후변화에 대한 막연한 의문과 불안감을 해소할 수 있음
미래를 위한 구체적인 준비를 할 수 있는 해답 제시

- **기후변화 시나리오의 종류**

온실가스 배출 시나리오 (Special Report on Emission Scenarios, SRES)
대표농도경로 (Representative Concentration Pathways, RCP)
공통사회경제경로 (Shared Socioeconomic Pathways, SSP)

기후 변화 예측 시나리오

- 대표농도경로 (Representative Concentration Pathways, RCP)

- IPCC 5차 평가보고서(2013)에서 인간 활동이 대기에 미치는 복사량으로 온실가스 농도를 결정
- 하나의 대표적인 복사강제력에 대해 사회·경제 시나리오는 여러 가지가 될 수 있다는 의미에서 '대표'라는 표현을 사용
- 온실가스 배출 시나리오의 시간에 따른 변화를 강조하기 위해 '경로(Pathways)'라는 의미를 포함
- RCP 시나리오는 총 4종(RCP 8.5/6.0/4.5/2.6)으로 구분
- 시나리오의 숫자는 복사강제력, 즉 온실가스 등처럼 에너지의 평형을 변화시키는 영향력 정도를 의미
 - * 영향력 정도; 온실가스로 인한 추가적인 지구 흡수 에너지양
 - * RCP 8.5/6.0/4.5/2.6의 복사강제력은 입사 태양복사량의 약 3.6%, 2.5%, 1.9%, 1.1%에 해당됨

기후 변화 예측 시나리오

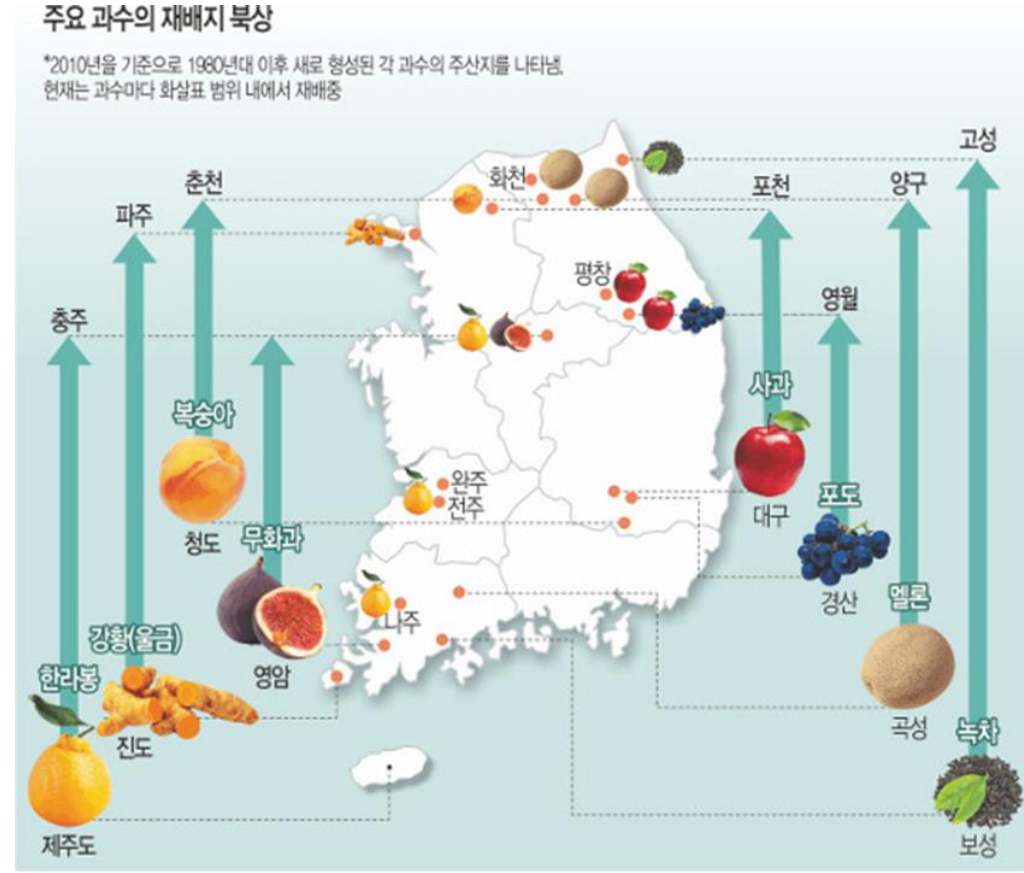
- RCP 시나리오별 설명 및 2100년 기준 CO₂ 농도

종 류	시나리오 설명	2100년 기준 CO ₂ 농도(ppm)
RCP2.6	지금부터 즉시 온실가스 감축 수행	420
RCP4.5	온실가스 감축 정책이 상당히 실현되는 경우	540
RCP6.0	온실가스 감축 정책이 어느 정도 실현되는 경우	670
RCP8.5	현재 추세(저감없이)로 온실가스가 배출되는 경우	940

한반도 지구 온난화가 농업에 미치는 영향

1. 농작물의 재배 지대 변화

- **벼는 온도가 높아지면 생육기간이 늘어남**
 - 조생종(생육기간이 짧음) 재배지대는 중생종 재배지대, 중생종 재배지대는 만생종 재배지대로 바뀔 것
 - 현재는 재배가 불가능한 대관령 고랭지에서도 벼 재배 가능
- **보리, 마늘 등 가을철에 파종하는 작물**
 - 겨울철 온도가 상승에 따라 재배가능 면적이 북쪽으로 확대
- **주요 과수의 재배지 북상**
 - 제주 한라봉이 전북 익산과 충북 충주에서 재배
 - 대구·경북의 사과는 강원 양구와 경기 파주까지 재배
 - [출처] 대한민국 정책브리핑(www.korea.kr)
- **남부지역이 아열대 기후권으로 변화**
 - 감귤, 유자, 참다래 등 난지 과수의 재배 지역 확대가 일반화



<http://m.kmib.co.kr/view.asp?arcid=0923335935>

한반도 지구 온난화가 농업에 미치는 영향

1. 농작물의 재배 지대 변화

● 기후변화로 인한 사과 재배지의 변화

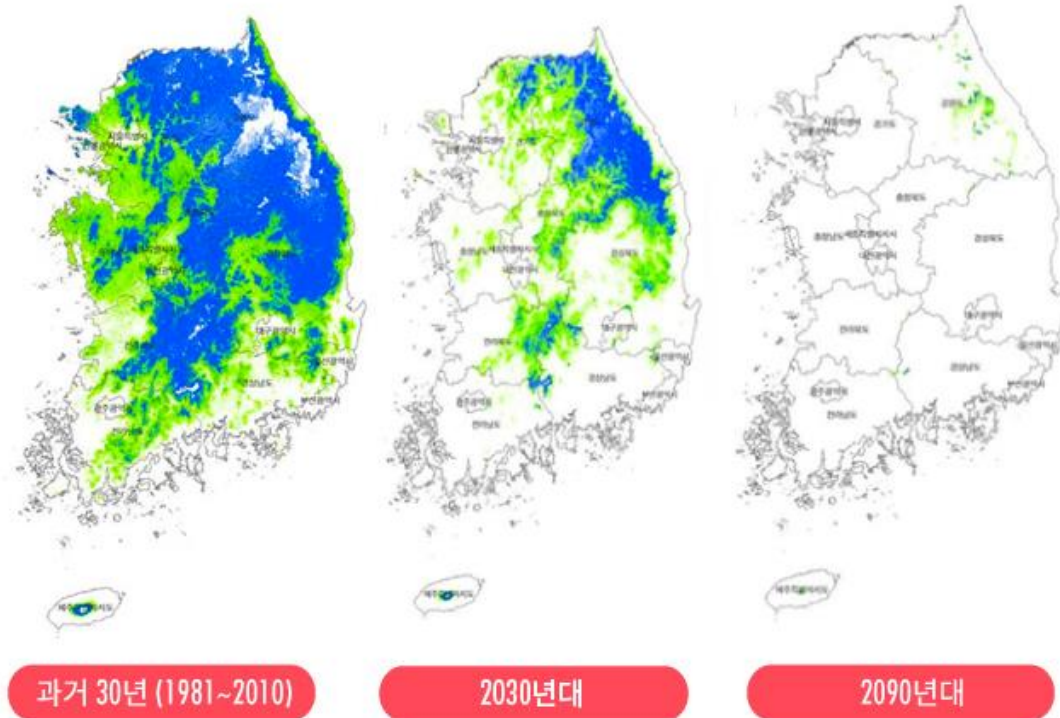
- 주산지 경북지역 재배지 감소, 강원도 생산량 3.2배 급증
- 사과재배지 대폭 줄어 21세기 말에는 강원도 산간에서만 재배될 가능성도 제기

[출처 : REAL FOODS, 2018]

● 기후변화 시나리오에 따른 사과 재배지의 변화

한반도 내 사과 총재배지 변화 예측도

● 재배적지 ● 재배가능지 ○ 저위생산지



출처: 농촌진흥청 제공

<http://biz.heraldcorp.com/view.php?ud=20180202000124&cpv=1>

한반도 지구 온난화가 농업에 미치는 영향

2. 병해충잡초의 피해 증가

● 기후변화로 인한 기온 상승

- 고온적응력이 높은 잡초의 번성과 월동해충의 증가
- 돌발 병해충 발생의 규모화로 피해 증가 예상
- 아열대성 병원체 출현 등 병원체 다양화
- 매개충의 월동 조건이 양호해지며, 세균 및 바이러스병 발생 증가 예상

[출처 : 월간퓨처에코, 2010 (ecofuturenetwork.co.kr)]

예, 갈색여치

현재; 우리나라 전역에 분포

2001년; 충북 충주, 단양지역에서 처음으로 피해사례가 보고

2006년; 충북영동을 중심으로 옥천, 청원, 보은지역의 복숭아, 포도, 자두 과수원에서 대규모 피해 발생

2007년; 충북영동 일대 과수원에서 대규모로 발생

겨울철 기온 상승 → 갈색여치의 알 생존율 상승

봄철 기온상승으로 일찍 발생한 것으로 추정



(출처: 국립농업과학원)

한반도 지구 온난화가 농업에 미치는 영향

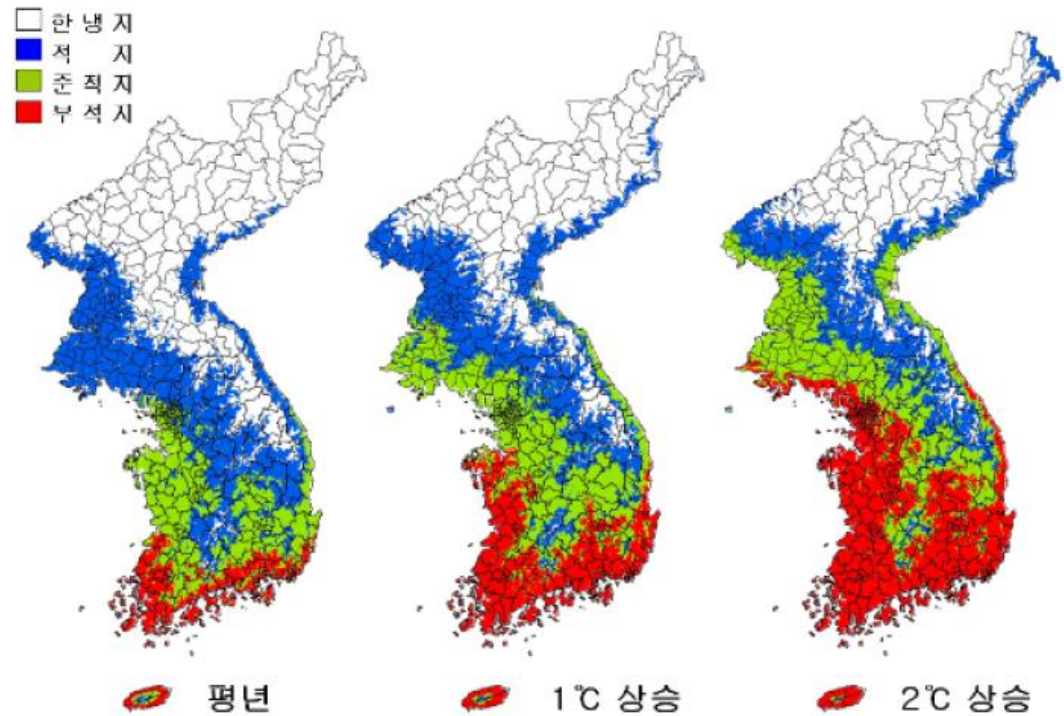
3. 작물 수량 및 품질에 대한 영향

● 사과 생산

- 미래 기후 조건(기온 5°C 상승, CO₂ 농도;650 ppm)
- 사과 수량 감소, 당도 저하, 착색불량, 과피 두께 감소로 인한 저장성 감소

● 채소작물(고추, 토마토 등)

미래 기후 조건에서 생육 지연, 수량 감소



자료: 농촌진흥청(2007).

한반도 지구 온난화가 농업에 미치는 영향

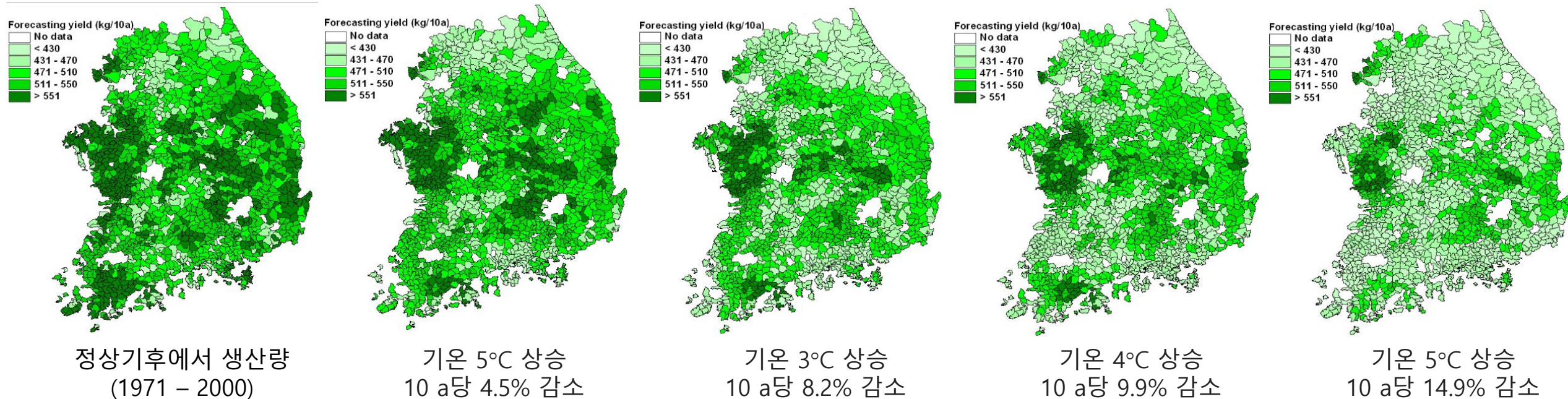
3. 작물 수량 및 품질에 대한 영향

● 기온상승으로 인한 벼 생육기간 감소 및 조기 결실

벼의 생산성과 품질 저하

기온 5°C 상승에 따라 수량은 약 15% 감소

[출처 : 한국기후변화학회지 (2010) 1(2):121-131]



기후 변화가 고추 병 발생에 미치는 영향

1. 고추 세균점무늬병 [Microbiol. Biotechnol. Lett. (2018) 46:77–84]

- 병원균 : *Xanthomonas euvesicatoria*

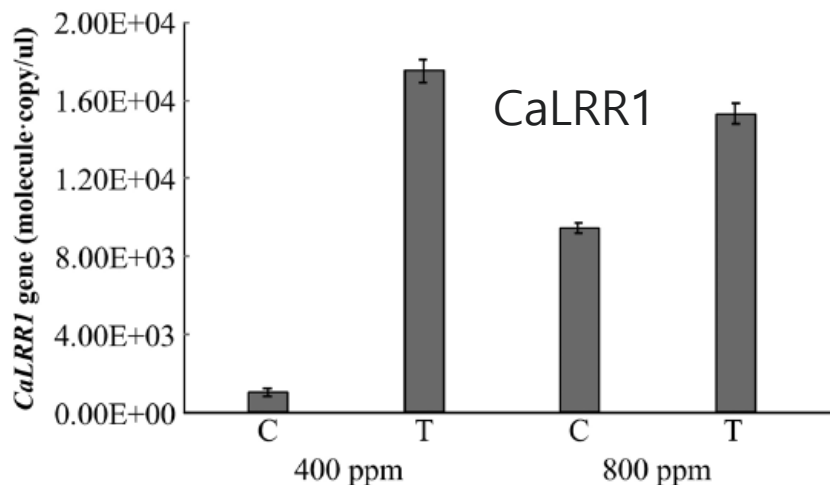
- CO₂ 농도 조건 : 400 ppm, 800 ppm

- 조사 항목

- 고추에서 병 저항성 관련 유전자의 발현; CaLRR1, CaPIK1, CaPR10
- 세균점무늬병의 발병도

- *X. euvesicatoria*가 접종 된 처리구의 CaLRR1, CaPIK1, CaPR10은 400 ppm 보다 800 ppm에서 발현 양 감소

- *X. euvesicatoria* 접종 14일 후 식물체의 표현형을 확인한 결과, 이병엽률과 발병도 모두 800 ppm에서 증가



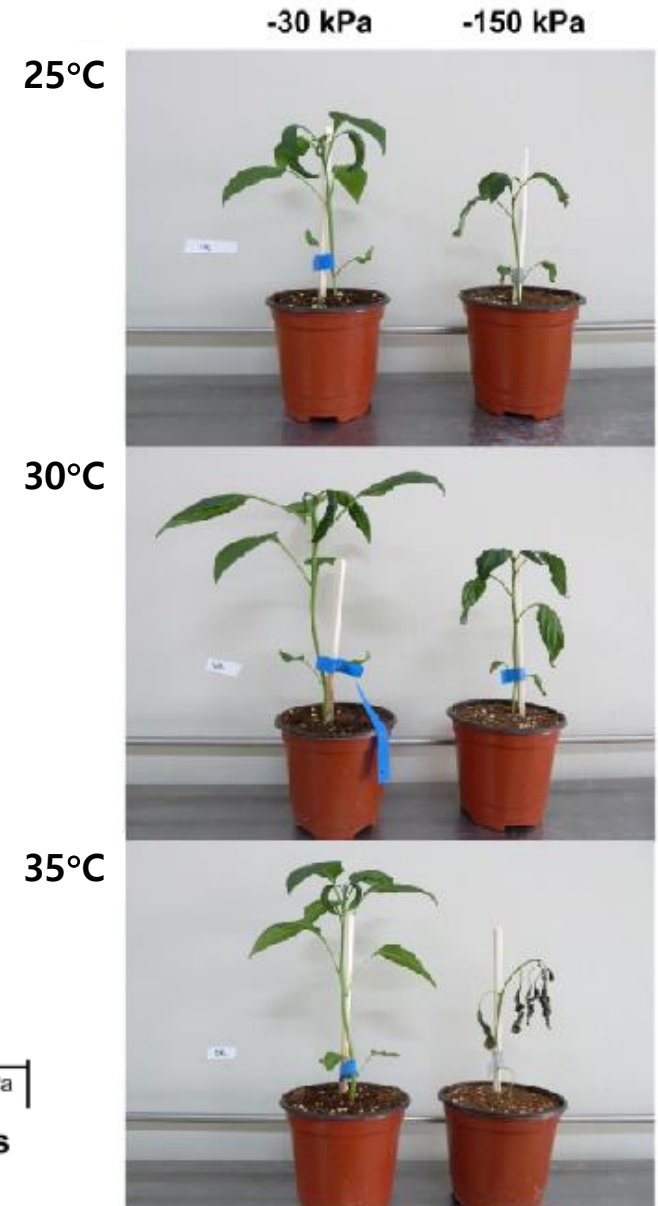
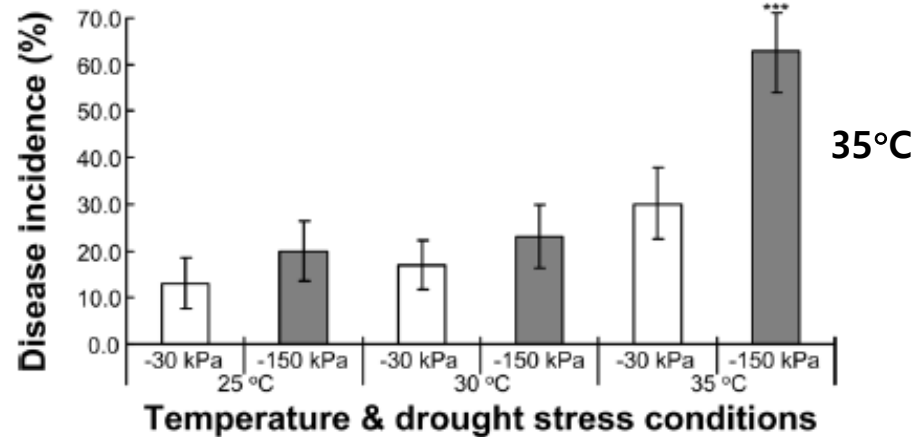
CO ₂ concentration (ppm)	Treated <i>X. euvesicatoria</i>	Ratio of diseased leaves (%)	Disease severity
400	X	0	0
	O	34.7 ± 1.2	0.8 ± 0.1
800	X	0	0
	O	61.6 ± 3.8	1.2 ± 0.25

The temperature of the incubation room is maintained at 30°C.

기후 변화가 고추 병 발생에 미치는 영향

1. 고추 세균점무늬병 [Res. Plant Dis. (2019) 25:62-70]

- 병원균 : *Xanthomonas euvesicatoria*
- 온도와 건조 조건
 - 온도 : 25, 30, 35°C
 - 건조 스트레스 조건 : -30 kPa, -150 kPa
- 고온건조한 조건
 - 고추의 생장은 억제되었음
 - 세균점무늬병의 발병이 심해졌음
- 건조 조건에서 병 발생에 더 심하였음.



기후 변화가 고추 병 발생에 미치는 영향

2. CO₂ 농도와 온도가 병 발생에 미치는 영향 [Plant Pathol. J. (2010) 26:178-184]

• CO₂ 농도와 온도

발병 조건(온도와 CO₂ 농도) : 25°C/400 ppm, 30°C/700 ppm

조사 병

진균병; 탄저병 (*Colletotrichum acutatum*), 역병 (*Phytophthora capsici*),

세균병; 풋마름병 (*Ralstonia solanacearum*), 세균점무늬병 (*Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*),

Diseases of pepper (Observation time)	Experiment	Incidence of disease on last day of experiment		<i>p</i> value ^a
		25°C, 400 ppm CO ₂	30°C, 700 ppm CO ₂	
Anthracnose (192h)	5	31.0 (11.4) ^b	22.0 (12.5)	0.9063 ^{NS}
Phytophthora blight (96h)	4	87.3 (14.2)	97.0 (6.0)	0.1250 ^{NS}
Bacterial wilt (144h)	7	69.3 (15.1)	92.9 (4.9)	0.0078**
Bacterial spot (120h)	6	72.5 (14.7)	97.3 (3.3)	0.0156*

세균점무늬병과 풋마름병은 고온과 고농도의 CO₂ 조건에서 병 발생이 증가

기후 변화가 고추 병 발생에 미치는 영향

3. 고추 흰비단병 [Res. Plant Dis. (2004) 10:21-24]

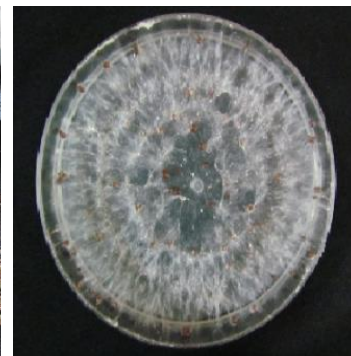
● 병 발생

2002. 7; 경남 하동군의 노지 재배 고추 포장
2003. 10; 경남 진주시 시설 재배 고추 포장
현재; 전국적으로 분포

● 병징

- 고추 지제부가 수침상으로 물러짐
- 암갈색으로 변하며, 약간 잘록해짐
- 병반 부위에 흰색 곰팡이 균사가 솟아나옴
- 병든 식물 지제부 부위의 토양이나 미숙 유기물에도 흰색 곰팡이와 암갈색의 균핵이 형성됨
- 병든 식물체는 서서히 시들면서 고사함

● 발병 조건 : 고온 다습 (비가 많은 해)



기후 변화가 고추 병 발생에 미치는 영향

4. *Macrophomina*에 의한 균핵마름 증상

• 병 발생

2016; 경기 화성시 밭 포장

• 병징

• 발병 조건 : 고온 건조

- 미국 남부 지역에서 **콩** 생산량 감소의 주된 원인
- 고온 건조한 지역에서 심하게 발생
- 2016년 부근의 국내 기상 상황

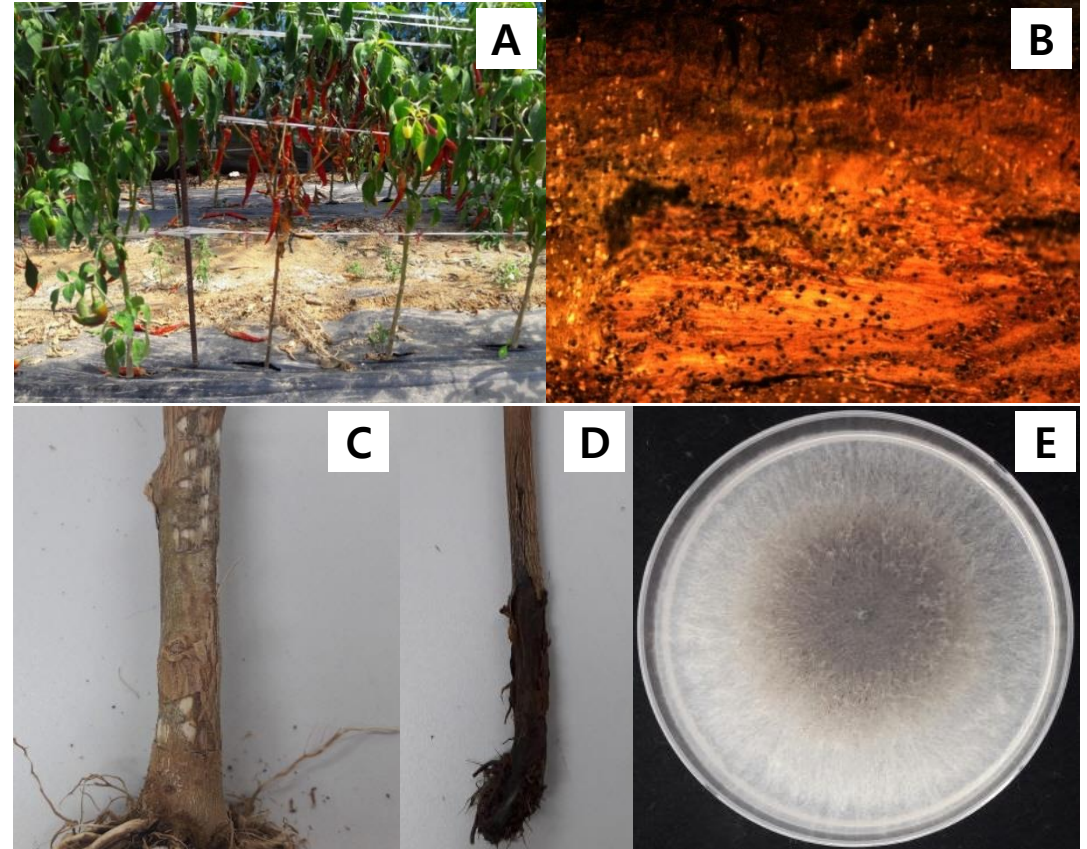
고온건조해지는 경향

포장에서 주요 병의 발생이 변화할 수 있는 우려

연평균기온; 1980년 11.2°C, 2019년에는 13.5°C로 상승

평균 강수량 (5월부터 10월까지 6개월간)

2013년부터 2017년까지 5년간은 계속 150 mm 이하



A: 수확기에 고사한 고추

B: 줄기에 형성된 소립균핵(10배)

C: 고추 줄기의 표피가 벗겨지고, 표피에 소립균핵 형성

D: 고추 뿌리의 부패 증상

E: PDA에서 생장한 병원균의 균총

기후 변화가 고추 병 발생에 미치는 영향

4. Macrophomina에 의한 균핵마름 증상

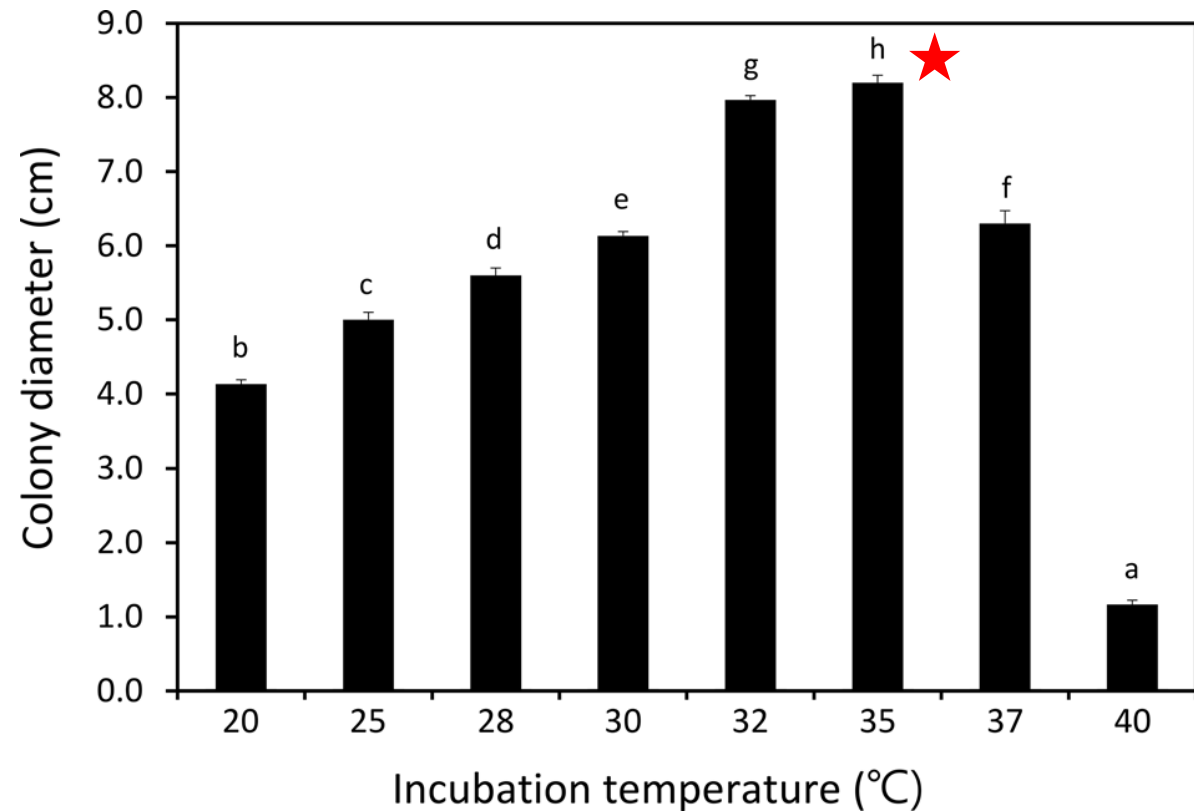
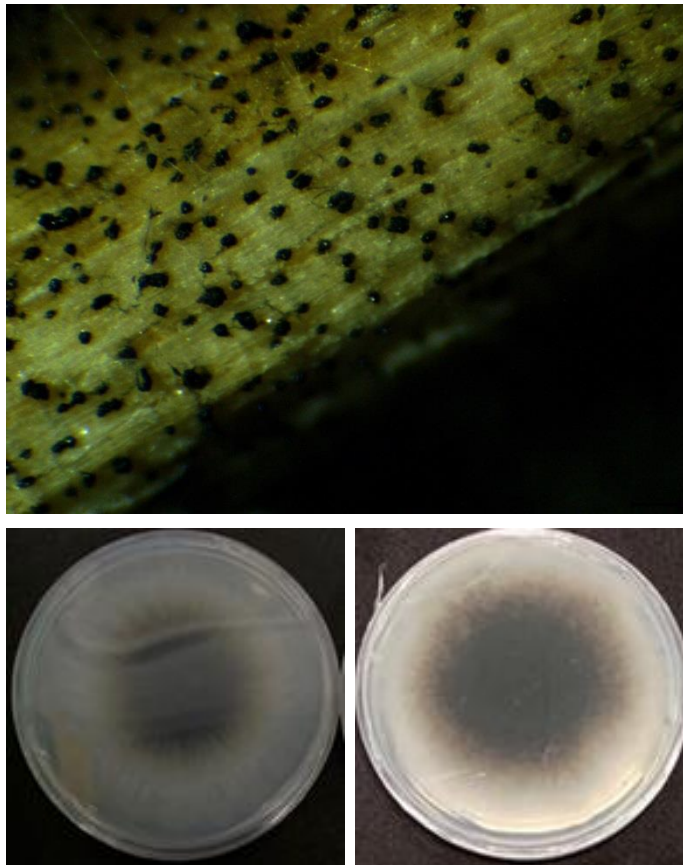
- 콩에서 병징



기후 변화가 고추 병 발생에 미치는 영향

4. Macrophomina에 의한 균핵마름 증상

- 콩에서 분리한 병원균의 특징



기후 변화에 대한 고추 산업의 대응 방안

현황

기상 이변과 기후 변화는 진행 중

고추의 문제점

고추 생육의 변화

생산량의 변화

병해충 발생의 급변

토마토황화잎말림바이러스병, 토마토반점위조바이러스병

흰비단병, 풋마름병

신규 병의 위협; 균핵마름증상(?)

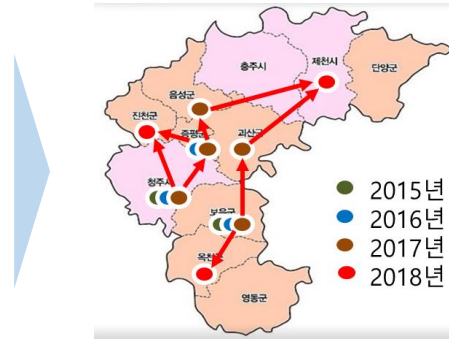


기후 변화에 대한 고추 산업의 대응 방안

해결 방안

문제 시되는 병; 바이러스병, 토양병(세균, 진균)

바이러스병; 저항성 품종 육성 (TSWV 저항성 품종 사용)



토양병

신규 병 → 현장 모니터링의 강화, 현장 방제 방법 고민
(살균제 처리, 경종적 방제 등)

세균병; 풋마름병 (저항성 품종 육종, 경종적 방제 등)



감사합니다!

