

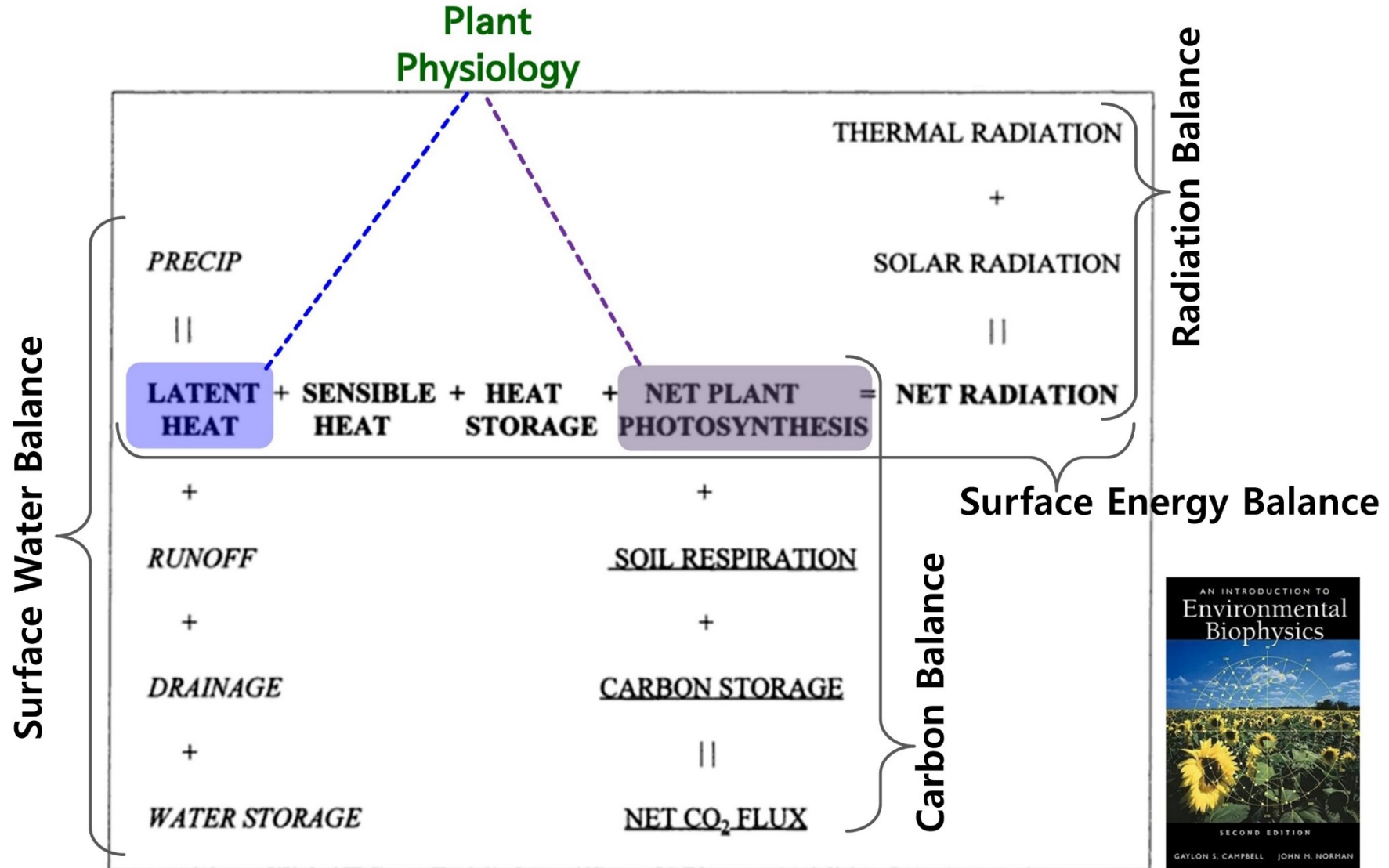
광학센서를 이용한 작물 모니터링

전남대학교 기후작물학연구실

조재일
류재현
오도혁
오세희
정회정
박지성
김지수



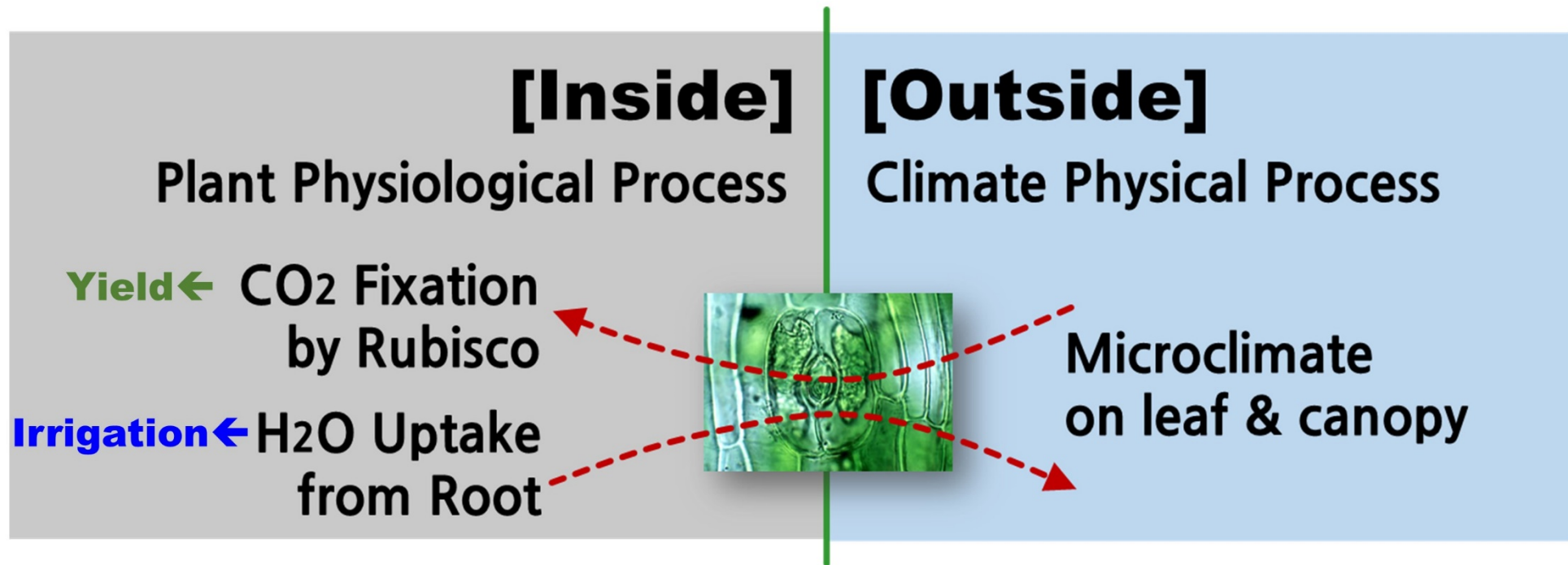
Self Introduce : 기후작물생리학 연구실 (1/3)



Self Introduce : 기후작물생리학 연구실 (2/3)

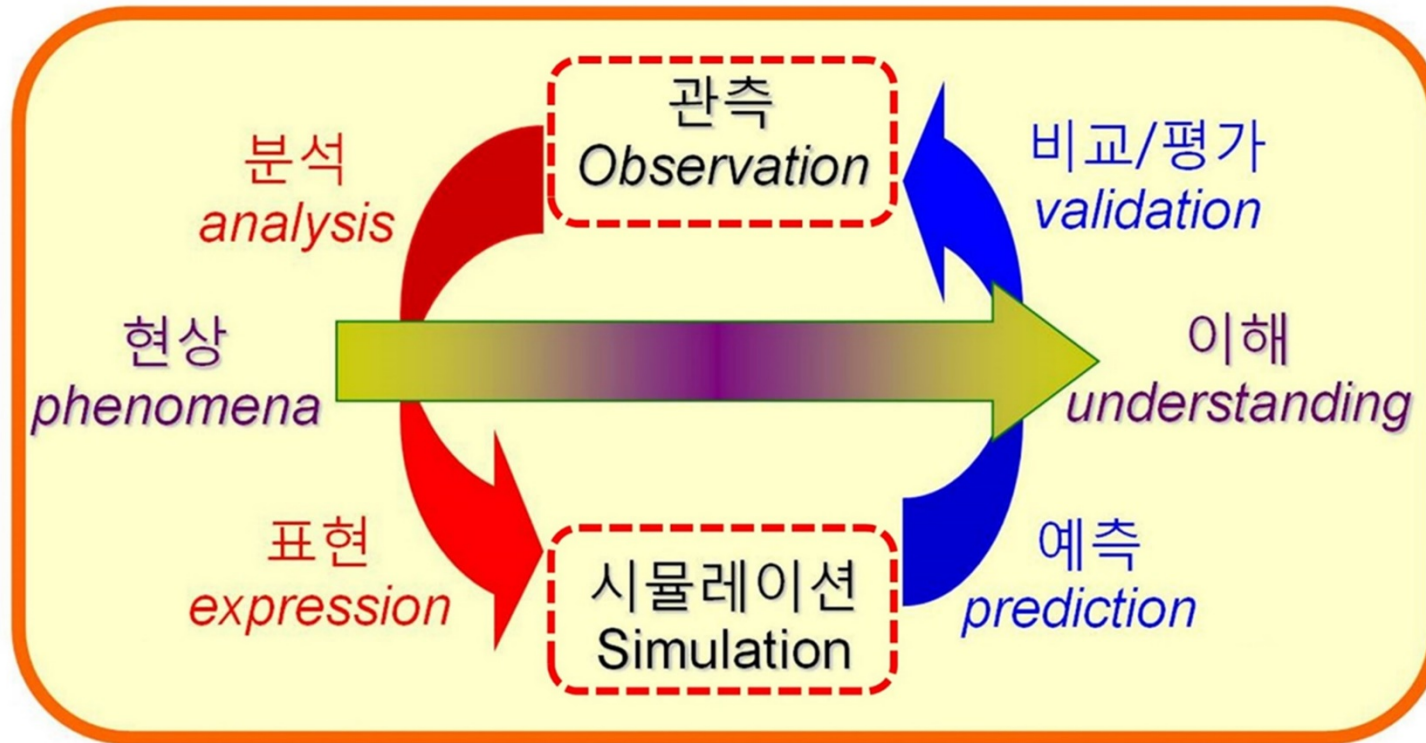
작물과 대기의 상호관계 (Plant-Atmosphere Interaction) 기반의

작물 스트레스에 따른 기공 기능의 진단 및 예측 :



Self Introduce : 기후작물생리학 연구실 (3/3)

관측과 모형 간의 상호 보완 연구법

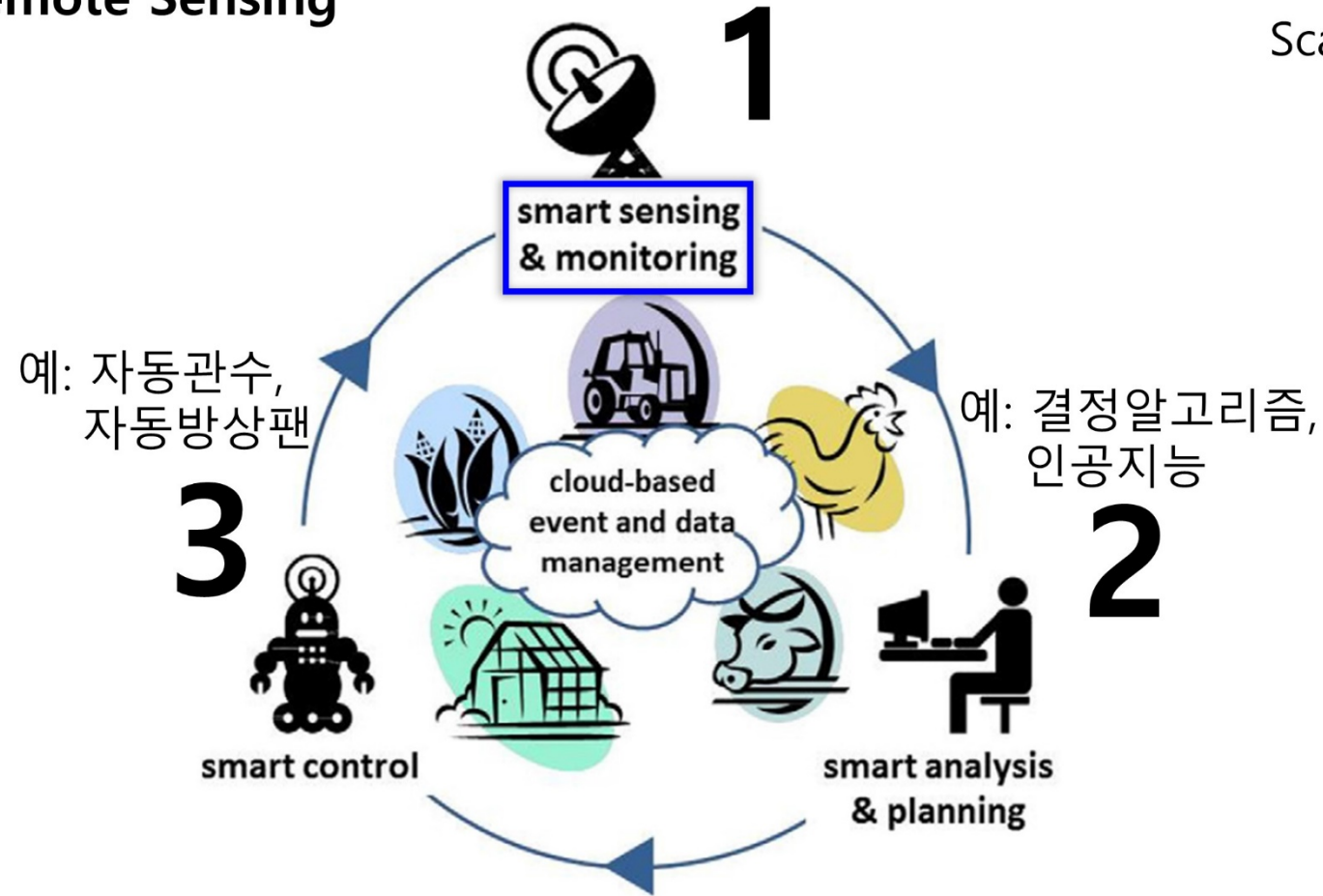


Cho et al. (2012)

(우리가) 최근 주목하고 있는 관측방법:
Smart Farming 과 Remote Sensing

예: 광학모니터링센서 (지상관측, 드론, 위성 등)

Scale-Up →



Wolfert, S., L. Ge, C. Verdouw, and M.-J. Bogaardt.
2017. "Big Data in Smart Farming – A review."
Agricultural Systems 153: 69-80.

(우리가) 주목하고 있는 광학센싱 Indicators : 소개

Old Indicator

CWSI (Crop Water Stress Index)

$$= f(T_{air}, T_{leaf}, VPD)$$

New Indicator

PRI (Photochemical Reflectance Index)

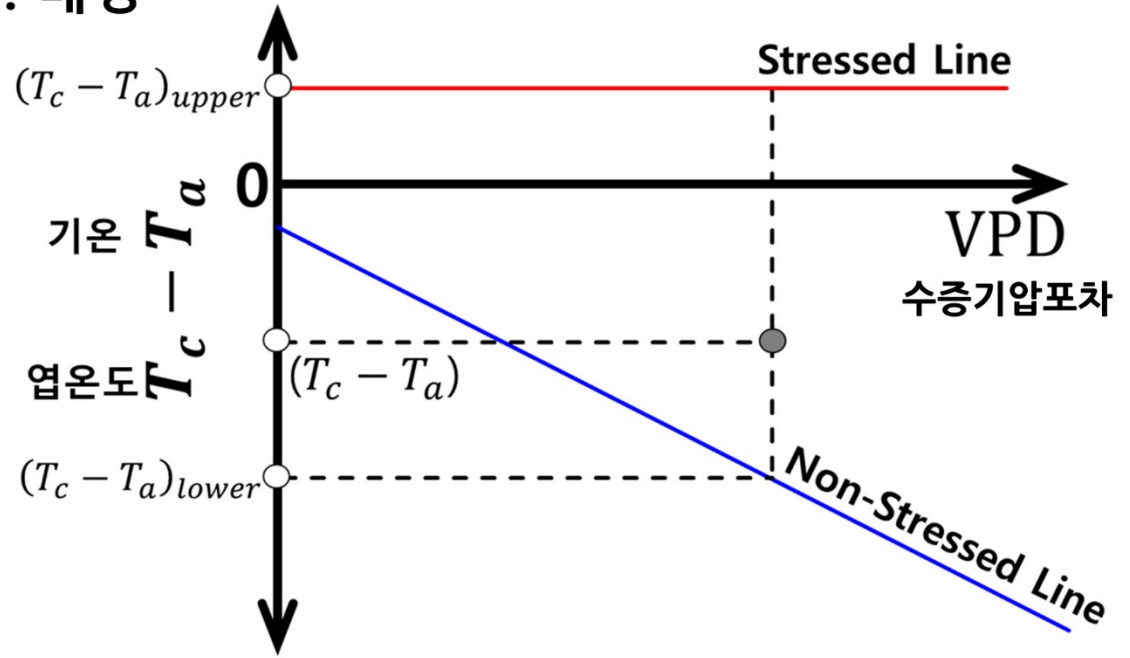
$$= \frac{(\rho_{531} - \rho_{570})}{(\rho_{531} + \rho_{570})}$$

(우리가) 주목하고 있는 광학센싱 Indicators : 배경

Old Indicator

CWSI (Crop Water Stress Index)

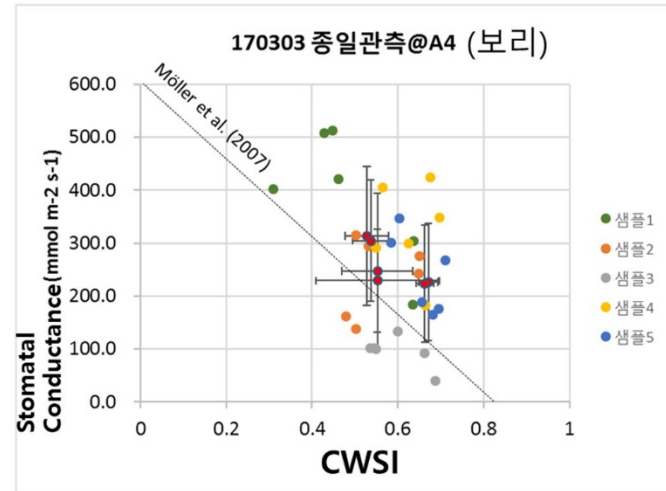
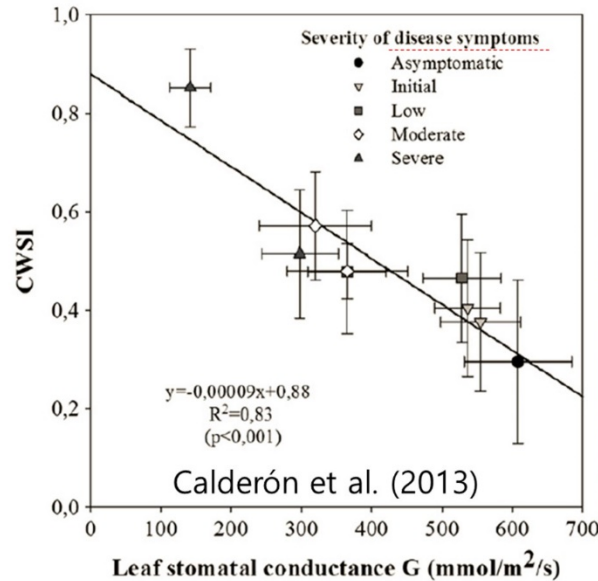
$$= f(T_{air}, T_{leaf}, VPD)$$



New Indicator

PRI (Photochemical Reflectance Index)

$$= \frac{(\rho_{531} - \rho_{570})}{(\rho_{531} + \rho_{570})}$$



(우리가) 주목하고 있는 광학센싱 Indicators : 배경

Old Indicator

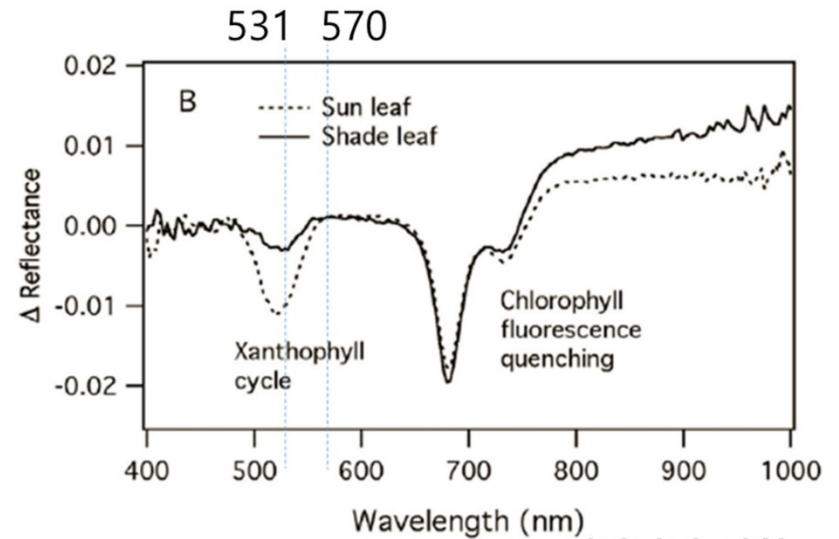
CWSI (Crop Water Stress Index)

$$= f(T_{air}, T_{leaf}, VPD)$$

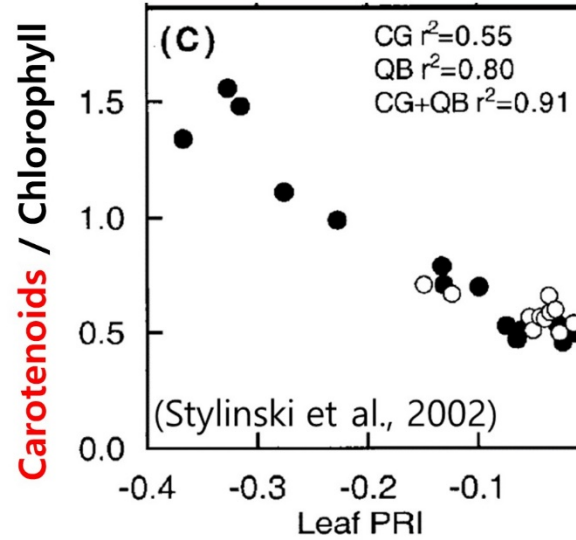
New Indicator

PRI (Photochemical Reflectance Index)

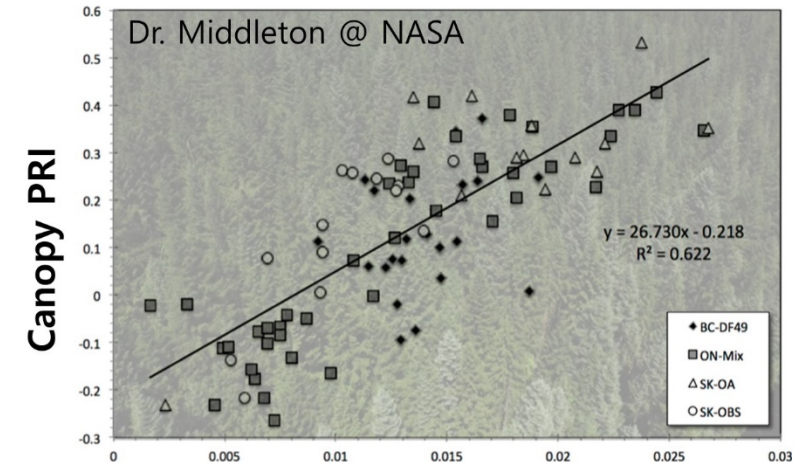
$$= \frac{(\rho_{531} - \rho_{570})}{(\rho_{531} + \rho_{570})}$$



(Gamon & Berry, 2012 : 해바라기 실험)



※ 카로티노이드는 엽록소 기능을 보조 & 보호

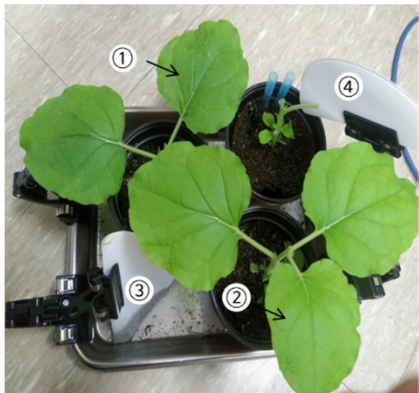


Average Daily LUE
(LUE: light use efficiency)

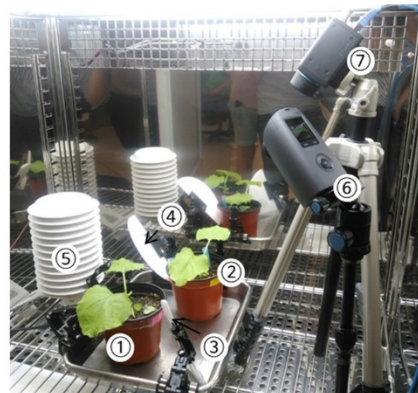
(우리가) 주목하고 있는 광학센싱 Indicators : 활용

	CWSI	PRI
생리적 스트레스 지수	<p><u>스트레스가 증가하면</u> 기공 개폐가 조절되므로 (대부분 <u>close</u> 됨) <u>스마트센싱으로 활용 가능</u> (유럽에서 주로 연구 @ 포도 농장)</p>	<p><u>스트레스가 증가하면</u> PRI 값이 감소하므로 <u>스마트센싱으로 활용 가능</u> (예, 15-16년에 美아르곤 국립연구소에서 프런티어 연구 수행)</p>
증발산 및 광합성 (기체교환@기공)	<p><u>관측하기 까다로운 광역의</u> <u>기공전도도를 CWSI로 산출하여</u> 위성알고리즘 및 작물모형에서 증발산과 광합성 계산할 때 사용 (우리 연구실에서 가능성을 연구 중)</p>	<p><u>PRI와 LUE의 관계를 이용하여</u> 상세한 위성 GPP 산출 가능 (예, NASA, ESA, JAXA에서 수행 중) <u>PRI와 LUE의 관계로 도출된</u> GPP를 이용하여 증발산 값 보정</p>

	CWSI	PRI
생리적 스트레스 지수		
증발산 및 광합성 (기체교환@기공)		

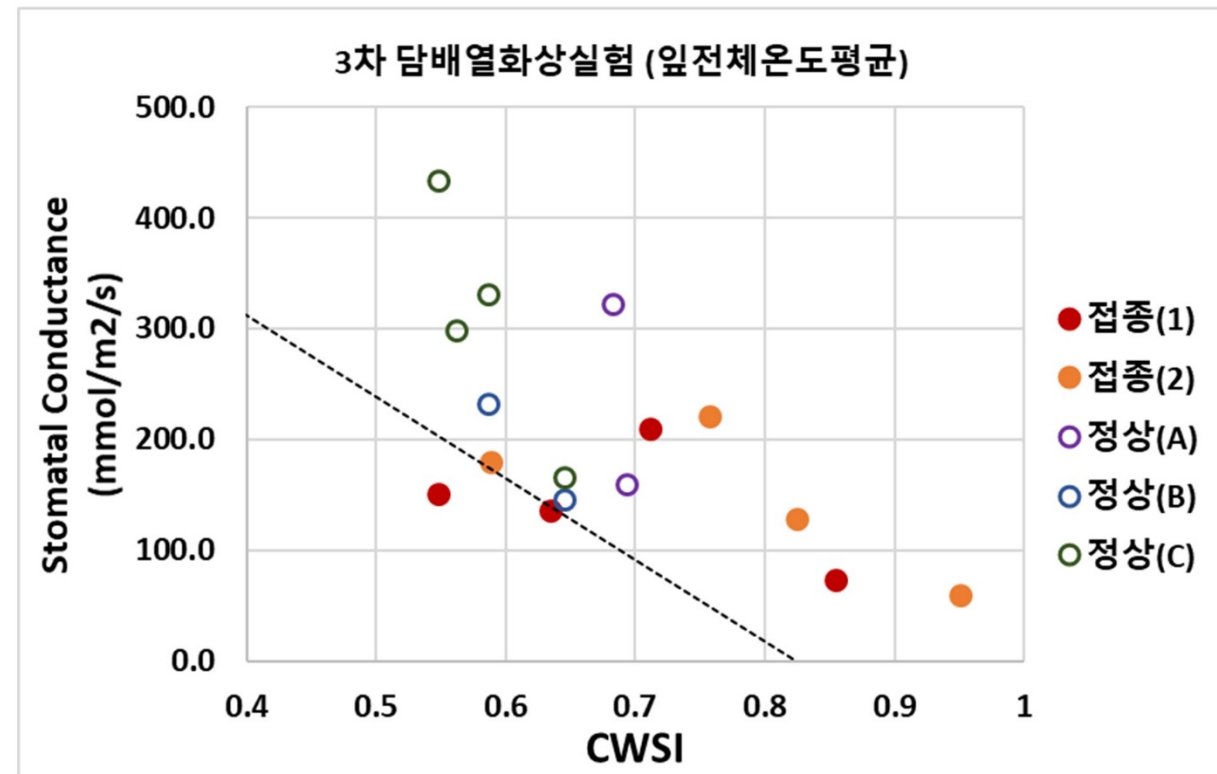
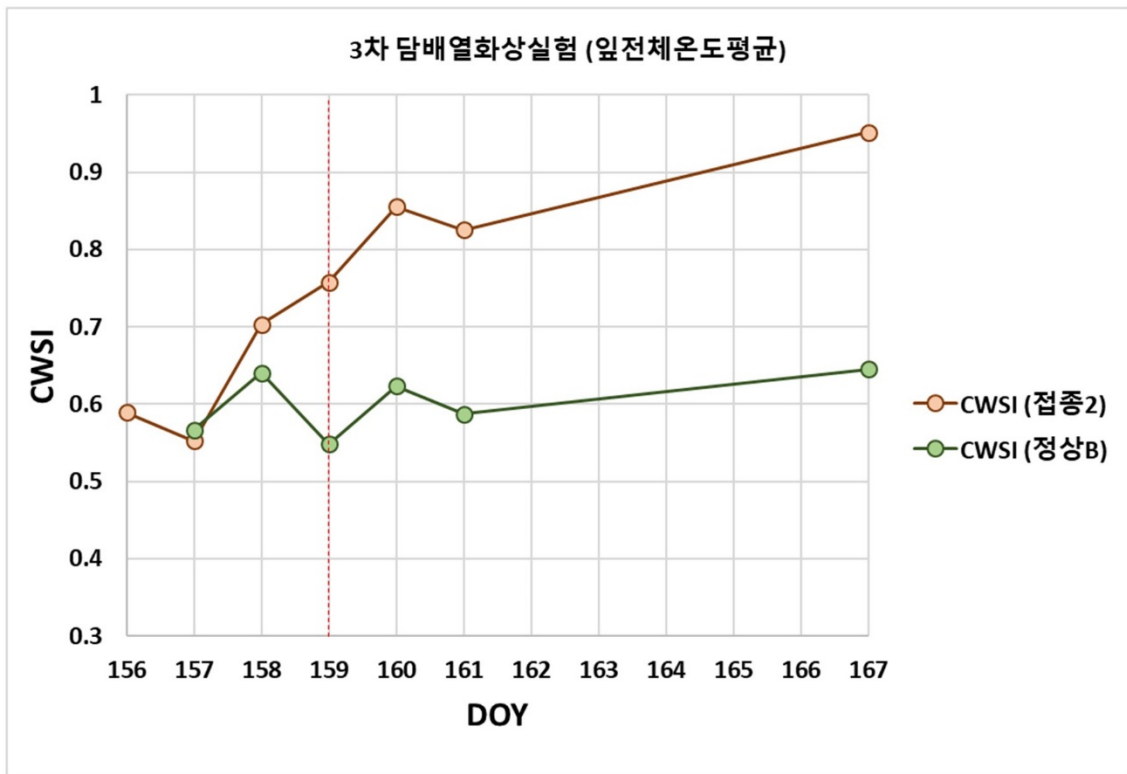



〈 실험 구성 〉



〈 생육 챔버 내 설치 모습 〉

- ① : 실험군 (CMV 접종)
- ② : 대조군 (CMV 비접종)
- ③ : WET Filter Paper
- ④ : DRY Filter Paper
- ⑤ : 온·습도계
- ⑥ : 생육 카메라
- ⑦ : 열화상 카메라



	CWSI	PRI
생리적 스트레스 지수		
증발산 및 광합성 (기체교환@기공)		

Review: 스트레스 환경과 PRI 지수값

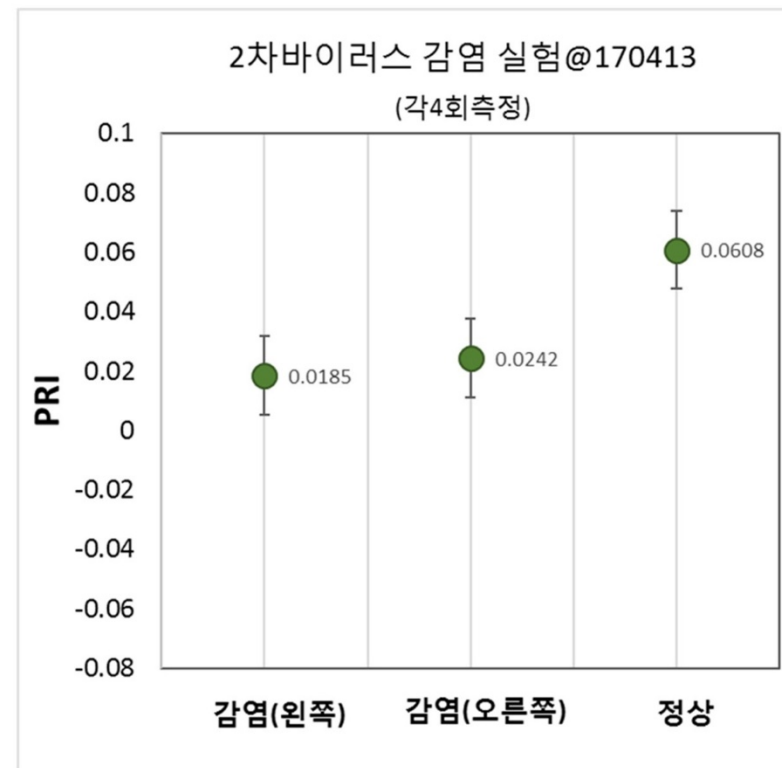
	← Physiological Stress	PRI	Physiological Non-Stress →
(Gamon & Berry, 2012)	Sunny Spot (photoinhibition)		Sunny Spot
(Gamon et al. 2005; Gamon & Berry, 2012)	Sun Leaf		Shade Leaf
(Gamon and Bond, 2013)	Old Leaf		Young Leaf
(Sims et al. 2006; Sarlikioti et al. 2010)	Drought		Sufficient Soil Moisture
(Wong and Gamon, 2014)	Cold Stress		Optimum Temperature
(Meroni et al., 2008)	Fatal [O₃]		Lower [O₃]
(Nichol et al. 2000)	Low LUE		High LUE (light use efficiency)
(Liu et al. 2013)	High NPQ		Low NPQ (non-photochemical quenching)
(Calderón et al., 2013)	Low g_s		High g_s (stomatal conductance)
(Calderón et al., 2013)	High CWSI		Low CWSI (crop water stress index)


	CWSI	PRI
생리적 스트레스 지수		PRI
증발산 및 광합성 (기체교환@기공)		

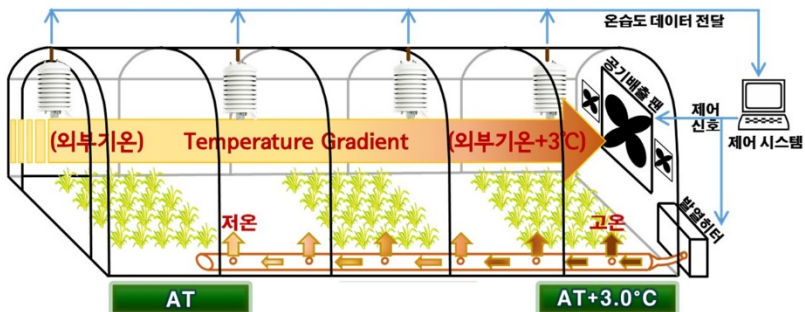
: 병충해 조기 탐지(early detection)의 가능성 조사



담배 앞에 바이러스를 인위적으로 감염시켜 관측



	CWSI	PRI
생리적 스트레스 지수		
증발산 및 광합성 (기체교환@기공)		

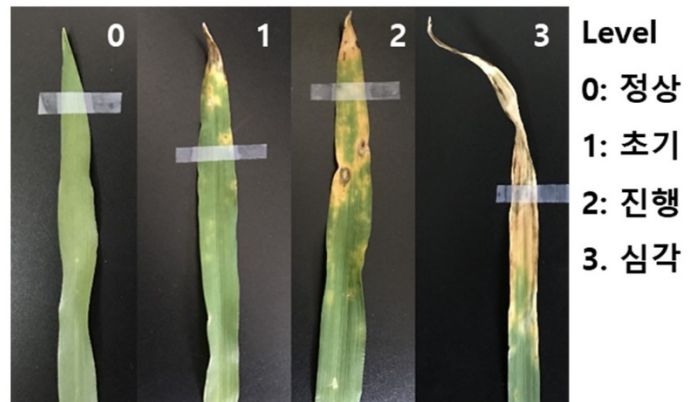


Cladosporium sp.

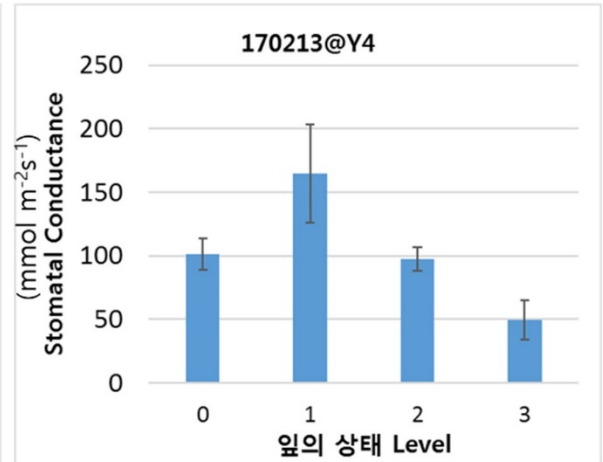
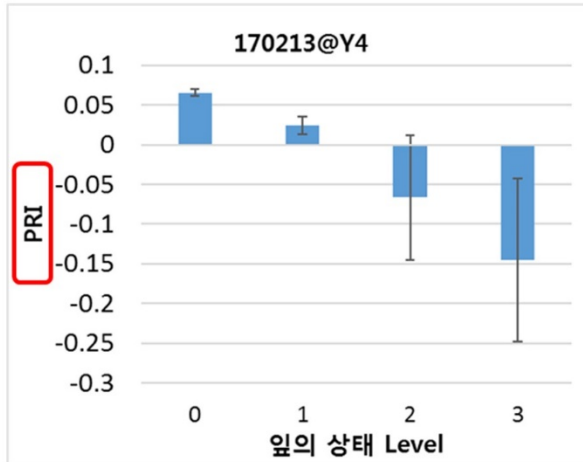
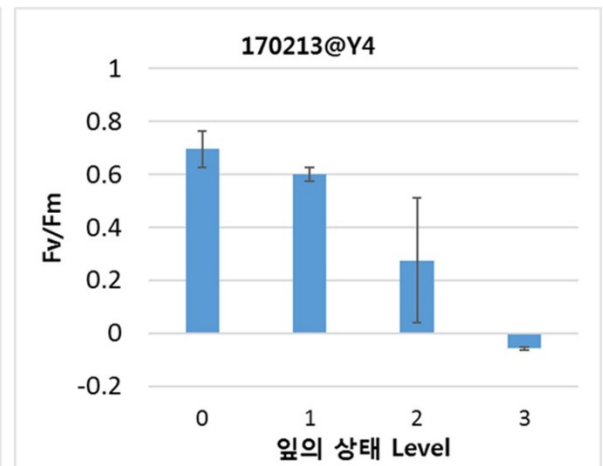
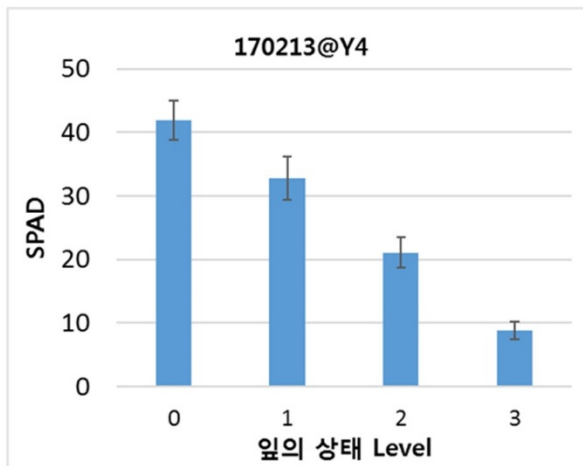


※곰팡이 동정 (정래동교수님)

16~17년 보리 고온환경에서의 생육 실험
 → 초기 생육 중 곰팡이성 병충해 발생

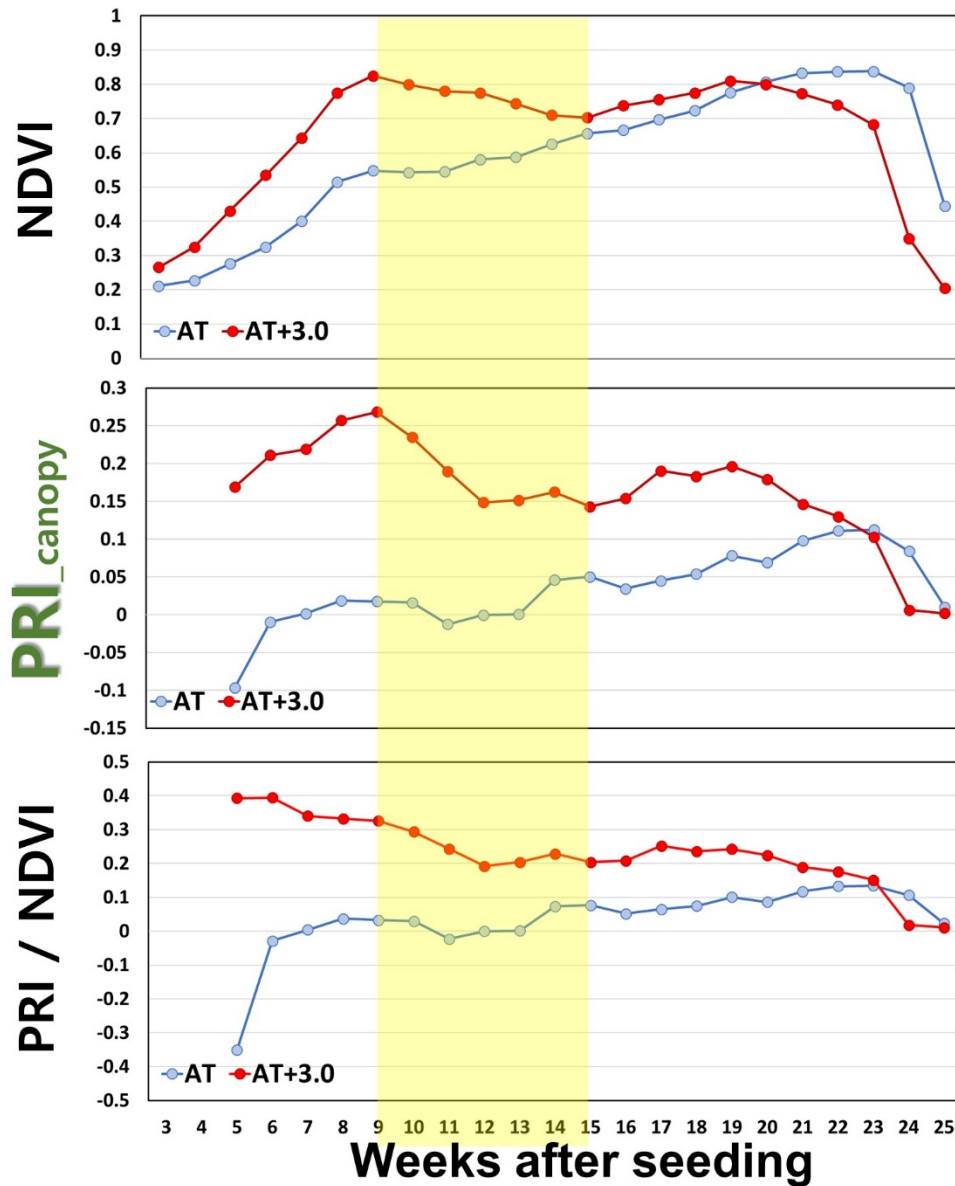
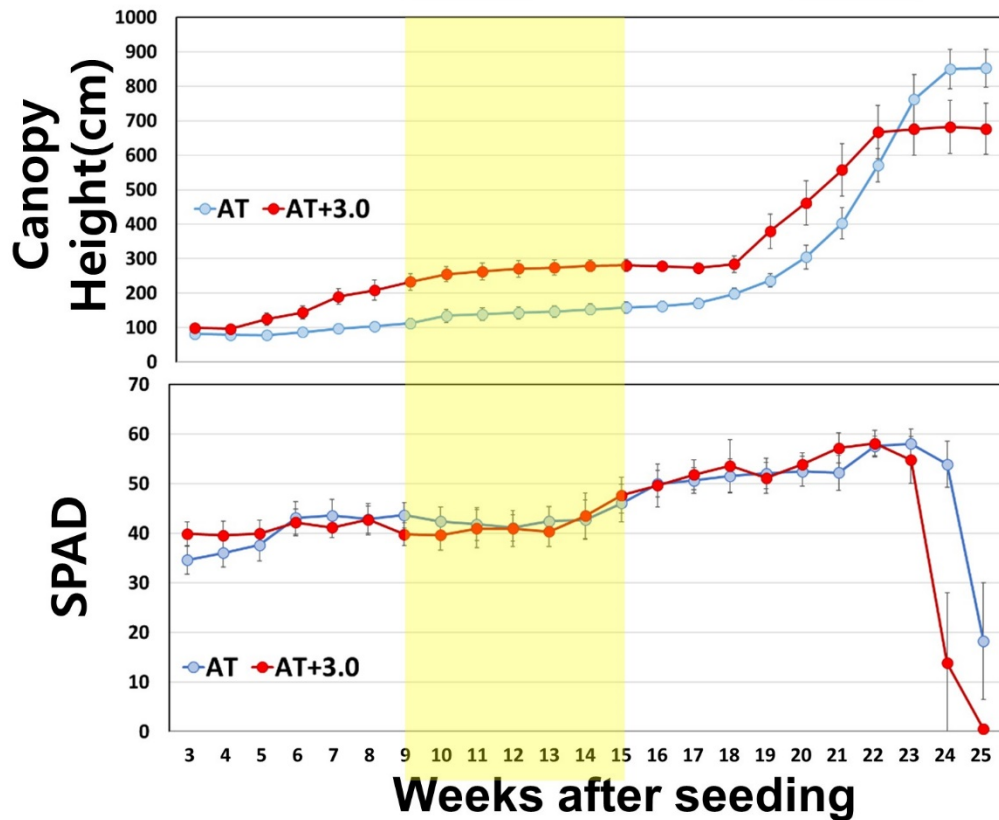
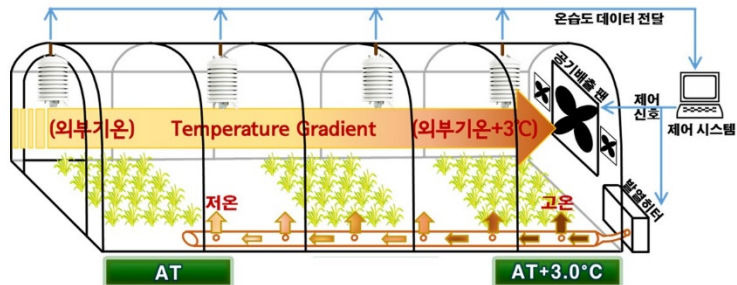


n=5



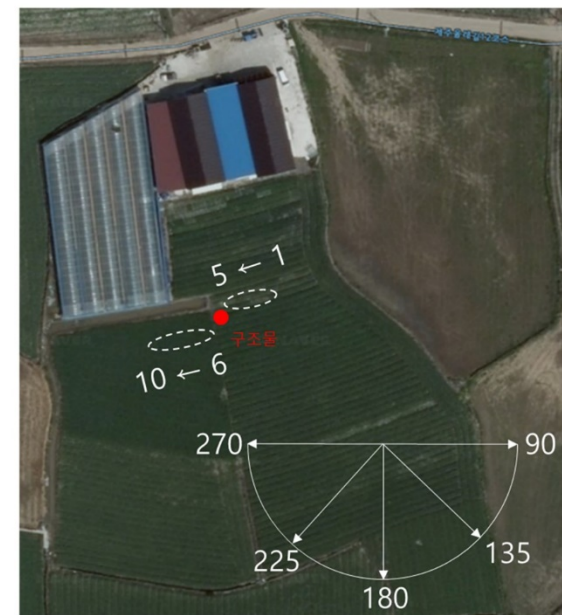
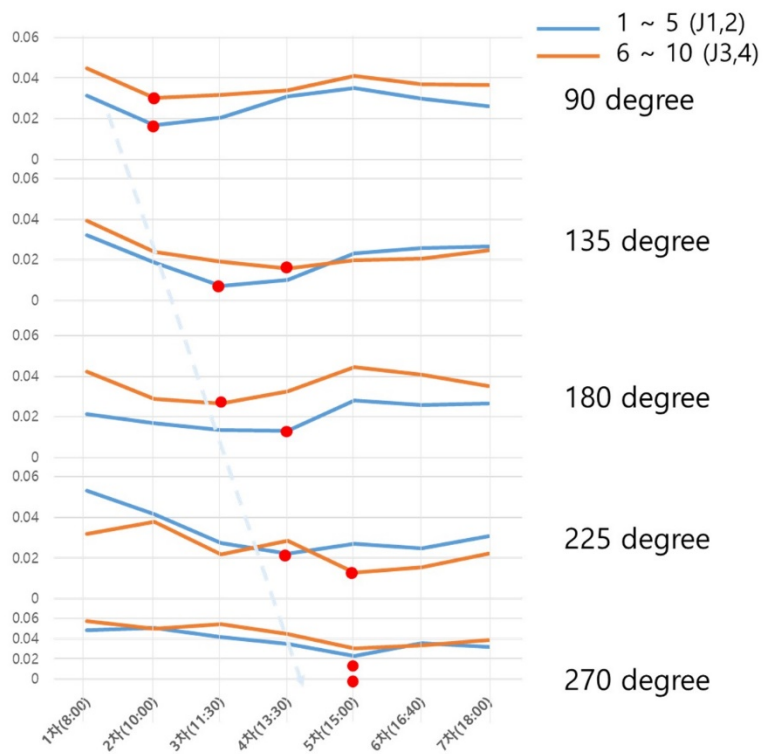
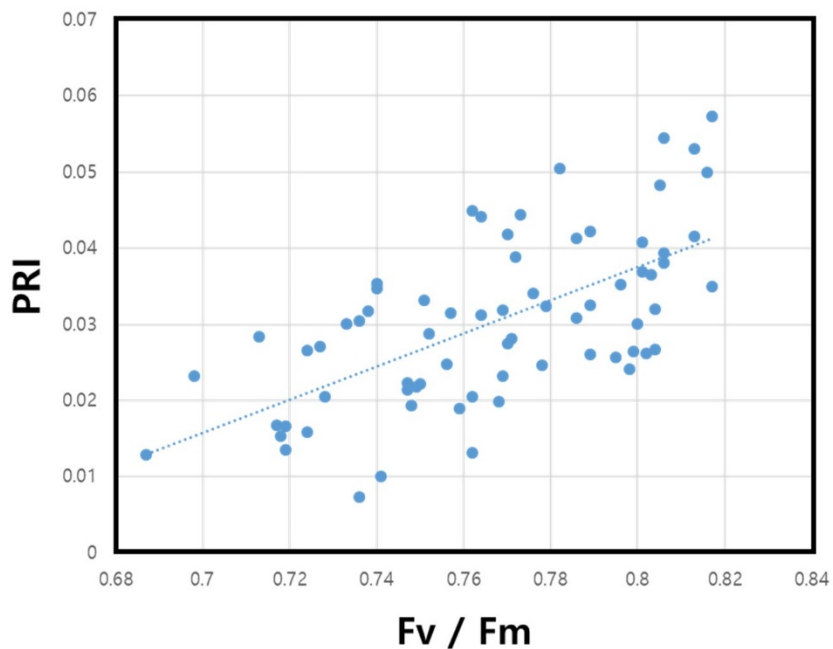
	CWSI	PRI
생리적 스트레스 지수		
증발산 및 광합성 (기체교환@기공)		



: 보리 생육 전기간 동안의 PRI 관측



	CWSI	PRI
생리적 스트레스 지수		
증발산 및 광합성 (기체교환@기공)		

: 제주(대정) 마늘밭에서의 PRI 및 에디공분산 관측



	CWSI	PRI
생리적 스트레스 지수		
증발산 및 광합성 (기체교환@기공)		


: 위성으로 PRI를 산출하여 광역의 식생 스트레스 탐지 가능

- 유럽우주국(ESA)은 보다 정확한 식생의 GPP 모니터링을 위해 **FLEX (Fluorescence EXplorer)** 위성을 2022년에 발사할 계획임
 - PRI가 산출될 예정
 - 유럽의 3곳에 지상 검증 사이트 존재



- 일본우주항공연구개발기구(JAXA)는 지구모니터링을 위해 **GCOM-C (Shikisai)** 위성을 2017년에 발사할 계획임
 - PRI가 산출될 예정
 - 홋카이도에 지상 검증 사이트 존재

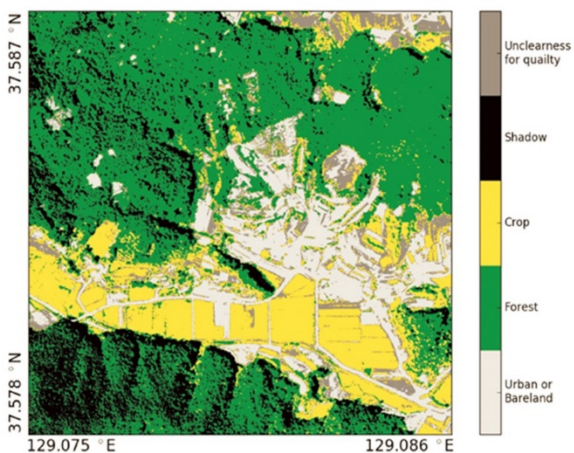
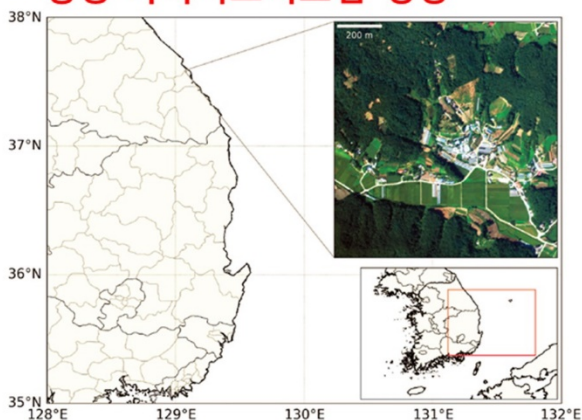


	CWSI	PRI
생리적 스트레스 지수		
증발산 및 광합성 (기체교환@기공)		

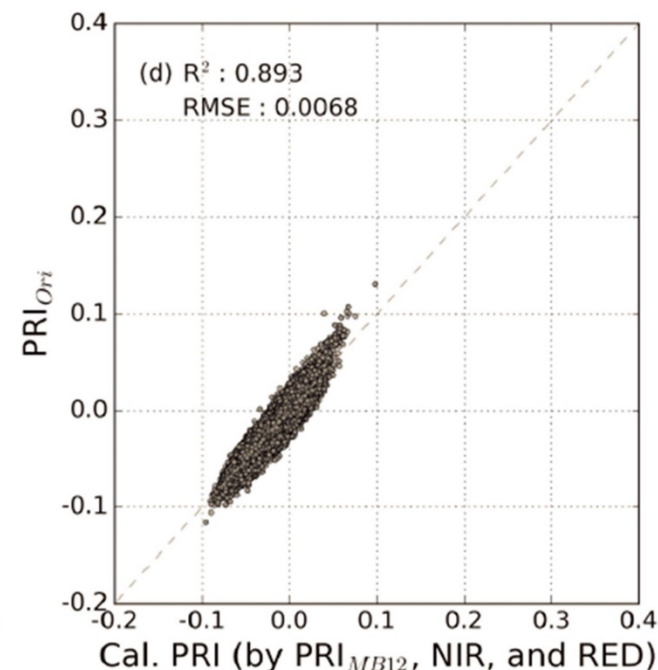
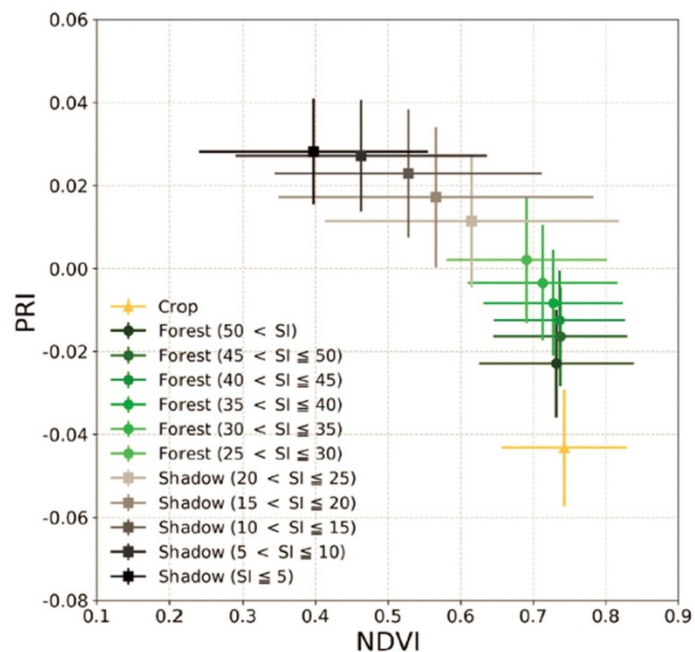
현재는 PRI를 산출할 수 있는 위성이 없음

: 현재 위성(MODIS)로 산출할 수 있는 방법은?

항공 하이퍼스펙트럼 영상



- 영상에서 그림자 부분은 PRI가 증가함을 볼 수 있음
- MODIS 위성으로 PRI 산출 가능성 확인



	CWSI	PRI
생리적 스트레스 지수		
증발산 및 광합성 (기체교환@기공)		

Penman-Monteith equation

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a C_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)}$$

Surface parameters

r_s & r_a

surface resistance aerodynamic resistance

Priestley-Taylor coefficient

$$\lambda ET = \alpha \lambda ET_{equ}$$

$$\lambda ET_{equ} = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G)$$

α
Priestley-Taylor coefficient

→ Surface Parameter는 개념적으로 만들어진 변수들
이므로 관측하기 매우 어려움

→ 기기의 발전으로 CWSI는 예전 보다 쉽게 관측할 수 있음

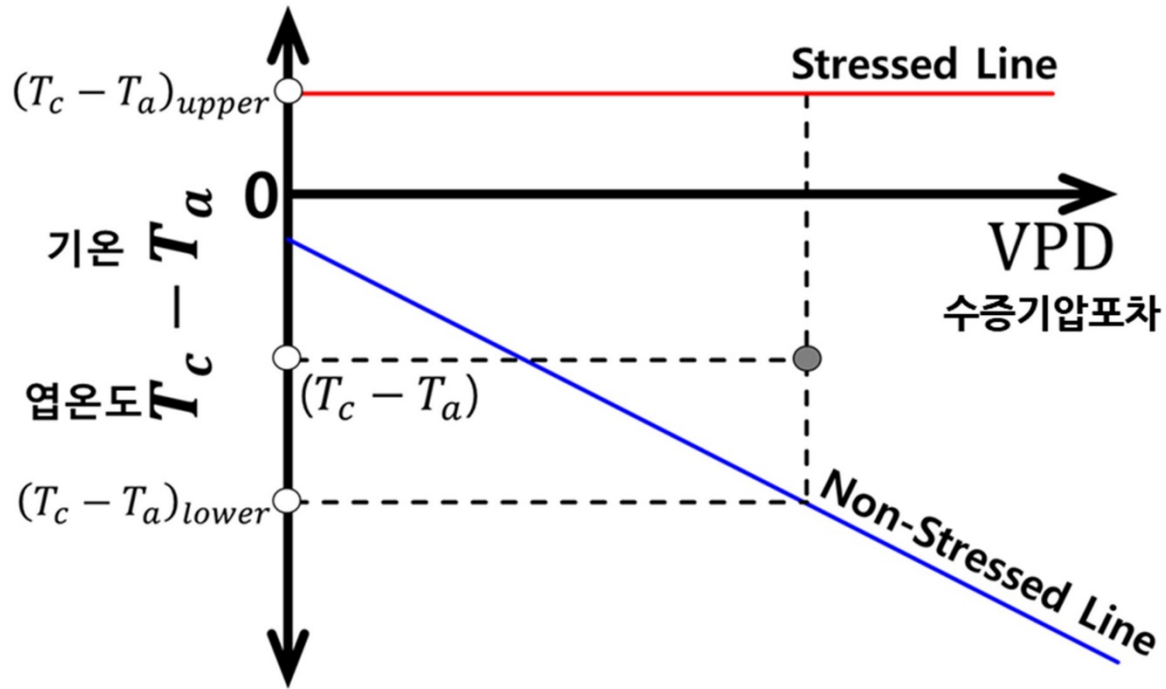


Thermography Camera



IRT (Infra-Red thermography) sensor

	CWSI	PRI
생리적 스트레스 지수		
증발산 및 광합성 (기체교환@기공)	✖✖✖✖✖	



$$CWSI = \frac{(T_c - T_a) - (T_c - T_a)_{lower}}{(T_c - T_a)_{upper} - (T_c - T_a)_{lower}}$$

$$= 1 - \frac{\lambda ET}{\lambda ET_p}$$


실제증발산량
잠재증발산량

$$= 1 - \frac{LE}{R_n - G}$$

잠열=실제증발산량
순복사 minus 지중열

$$\therefore LE = (1 - CWSI)(R_n - G)$$

$$\alpha = \frac{\Delta + \gamma}{\Delta} - \frac{\Delta + \gamma}{\Delta} CWSI$$

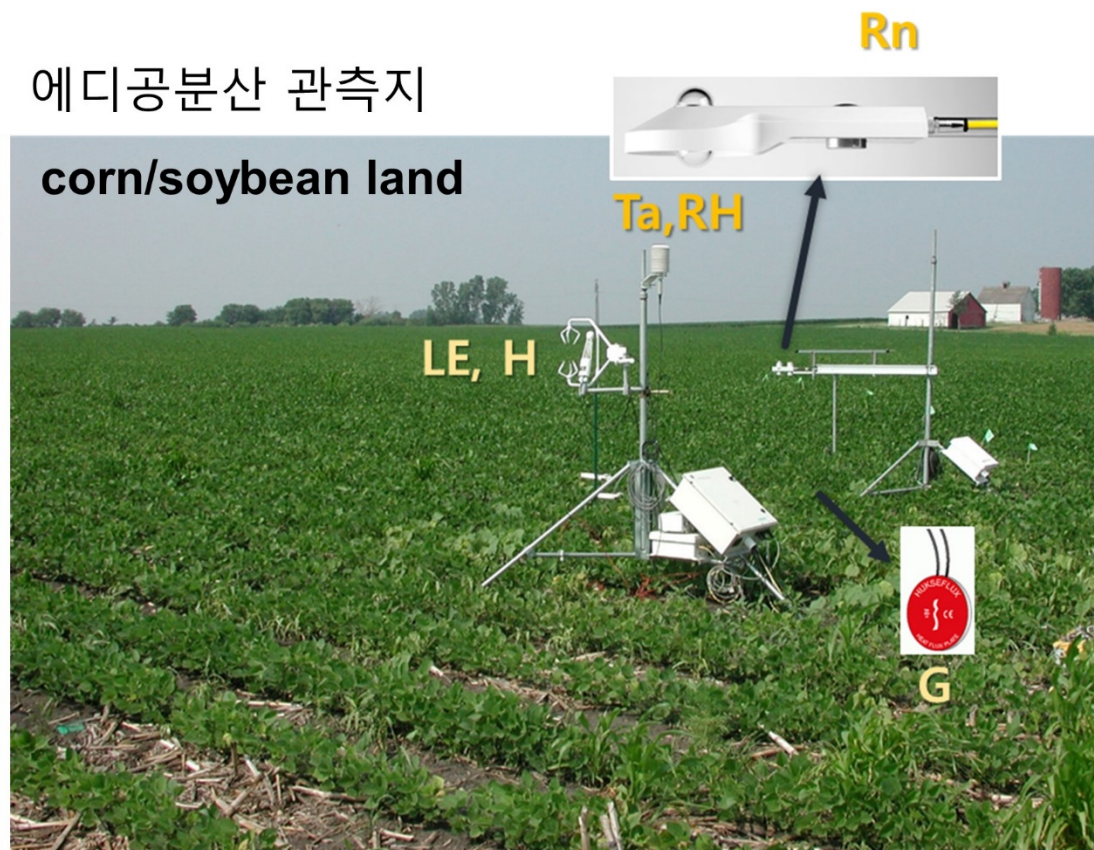
	CWSI	PRI
생리적 스트레스 지수		
증발산 및 광합성 (기체교환@기공)		


$$\alpha = \frac{\Delta + \gamma}{\Delta} - \frac{\Delta + \gamma}{\Delta} CWSI$$

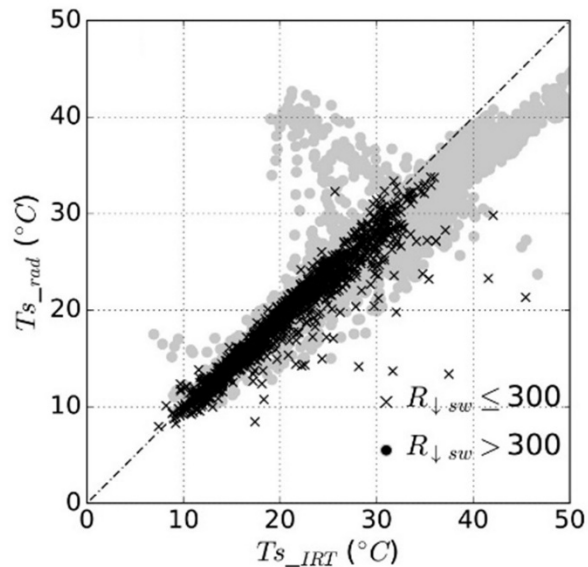
CWSI를 알면 증발산량을 계산할 수 있는지 검증



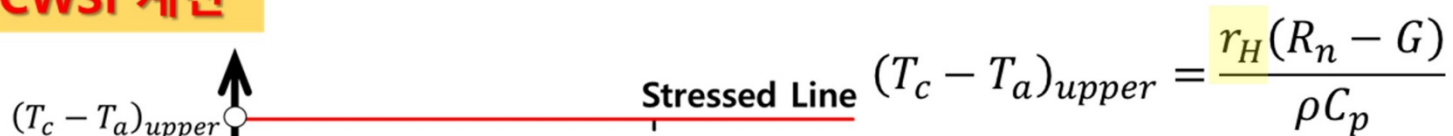
에디공분산 관측지
corn/soybean land



	CWSI	PRI
생리적 스트레스 지수		
증발산 및 광합성 (기체교환@기공)		



CWSI 계산




IRT



Net Radiometer(순복사계)



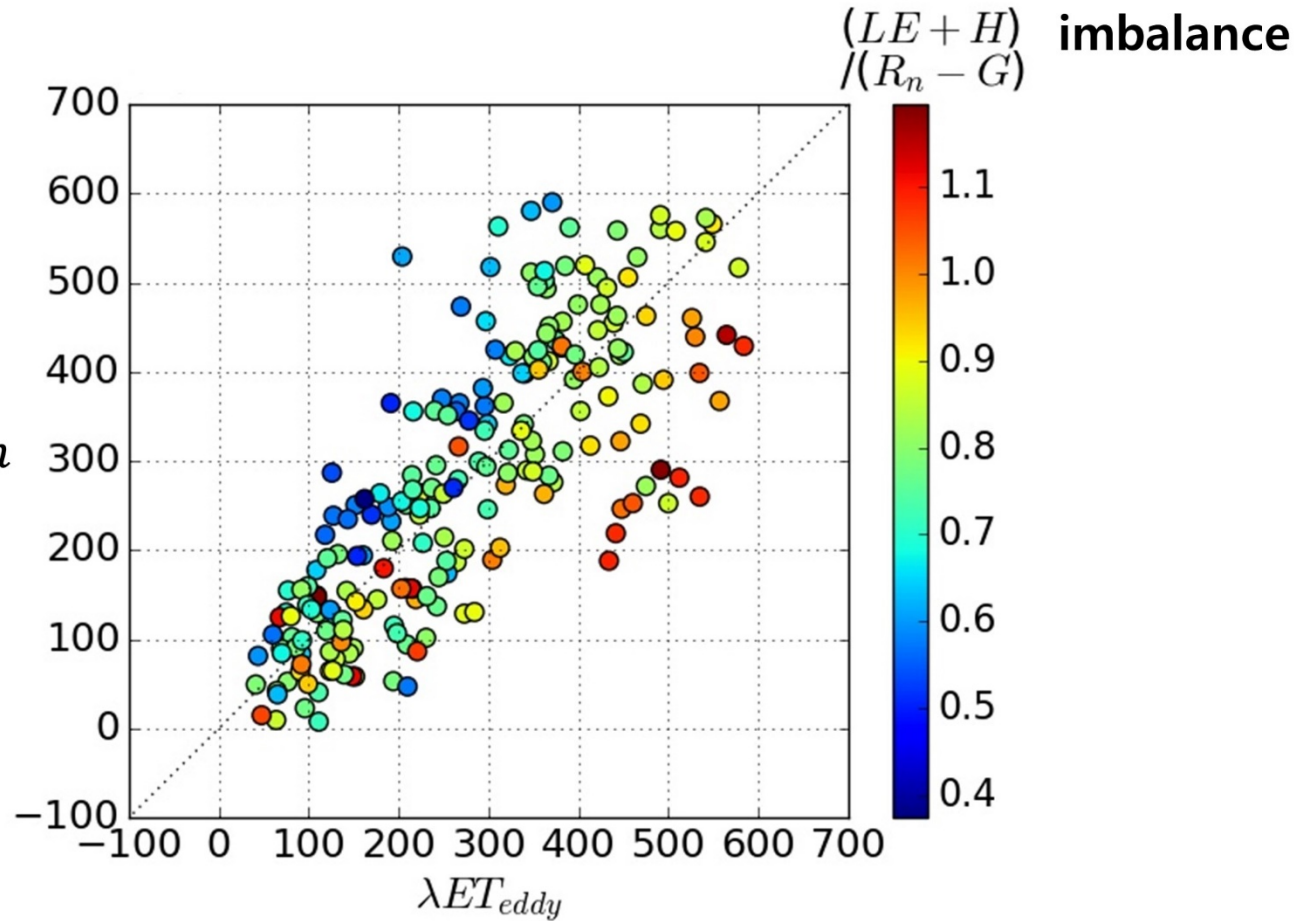
$$(T_c - T_a)_{lower} = \frac{r_H(R_n - G)}{\rho C_p} \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} - \frac{VPD}{\Delta + \gamma}$$


	CWSI	PRI
생리적 스트레스 지수		
증발산 및 광합성 (기체교환@기공)		

CWSI, Rn, G, Ta를 알면 증발산량을 계산할 수 있다 - 관수량 결정 가능

$$\alpha = \frac{\Delta + \gamma}{\Delta} - \frac{\Delta + \gamma}{\Delta} CWSI$$

$\lambda ET_{estimation}$



	CWSI	PRI
생리적 스트레스 지수		
증발산 및 광합성 (기체교환@기공)		

CWSI, Rn, G, T_a 를 알면 증발산량을 계산할 수 있다

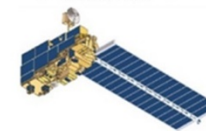
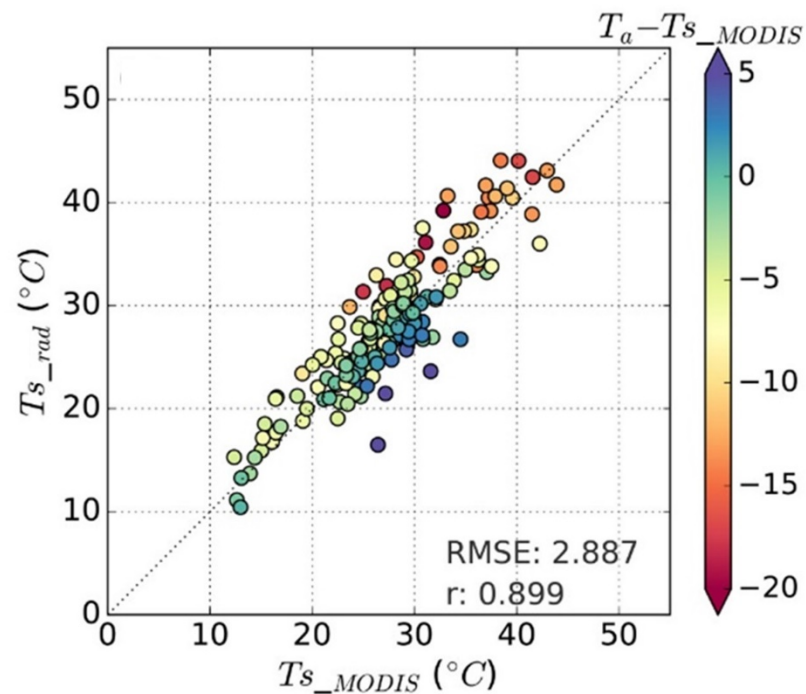
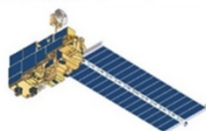
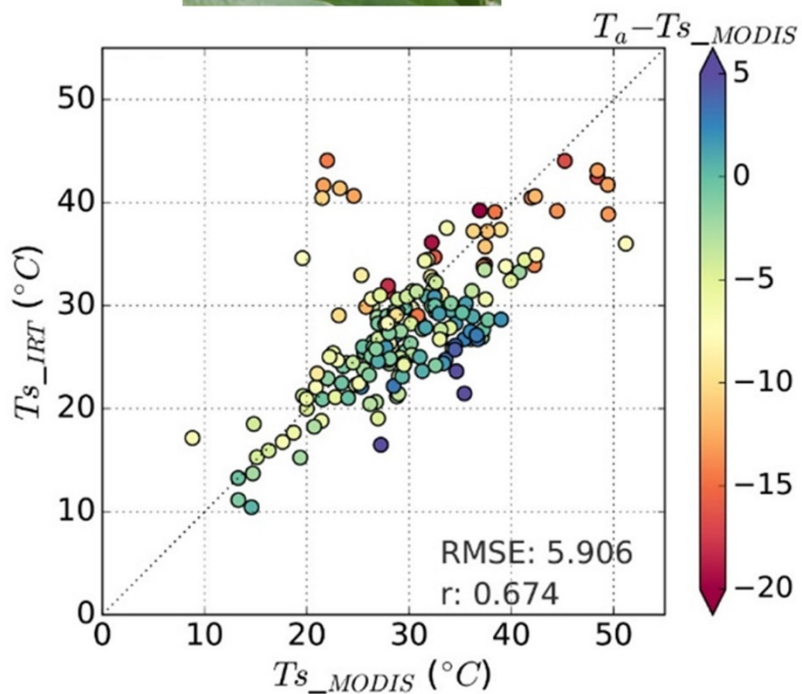
→ 위성으로 Scale-Up 가능할까?

IRTs

infrared temperature sensors



Net Radiometer (순복사계)



앞으로의 연구실 수행 연구계획

	CWSI	PRI
<p>생리적 스트레스 지수</p>	<p>벼, 보리, 마늘을 대상 (실험 계속) : IRT & 열화상카메라 : 가뭄조건, 바이러스감염</p>	<p>벼, 보리, 마늘을 대상 (실험 계속) : PRI200, SRS-PRI, MODIS : 가뭄조건, 고온조건</p>
<p>증발산 및 광합성 (기체교환@기공)</p>	<p>마늘, 벼를 대상 (실험 계속) : IRT & 에디공분산, MODIS : 증발산 산출 : Crop LSM에 대입 (계획 중)</p>	<p>MODIS PRI & Crop LSM (계획 중)</p>

감사합니다.

전남대학교
응용식물학과
조재일

