

PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF TREE CROPS TO CLIMATE CHANGE

ในการสัมมนาเรื่อง

“ปรับปรุงพันธุ์พืช เพื่อเตรียมพร้อมรับมือภัยพิบัติ”

พูนพิภพ เกษมทรัพย์

ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

24 มีนาคม 2554

Tree crops

- พืชยืนต้นเศรษฐกิจเป็นองค์ประกอบสำคัญต่อการดำรงชีวิตและเศรษฐกิจของคนไทย



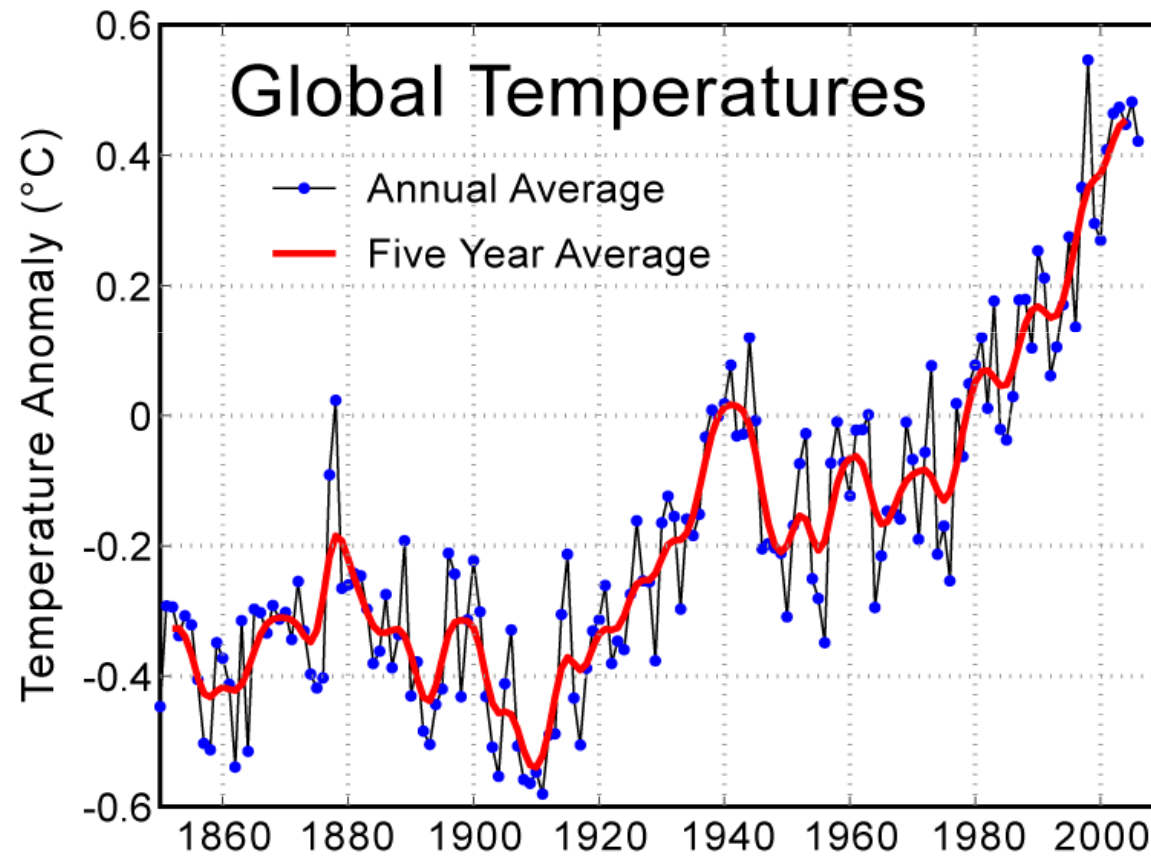
Climate change

□ ปัจจัยแวดล้อมที่ไม่มีชีวิตที่จะมีอิทธิพลสำคัญต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาในระบบการผลิตพืชยืนต้นเศรษฐกิจได้แก่

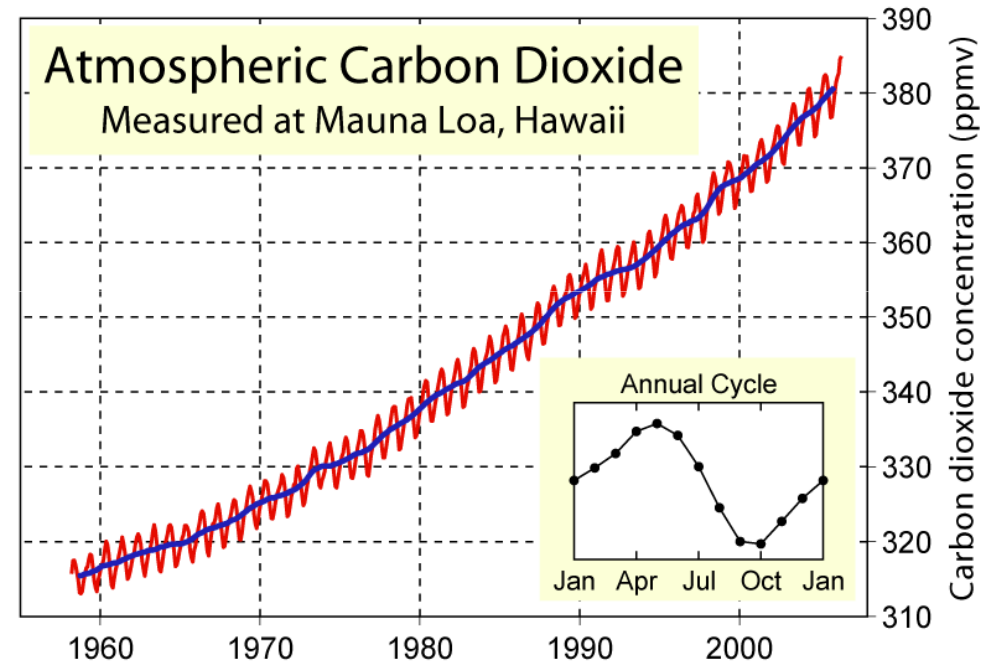
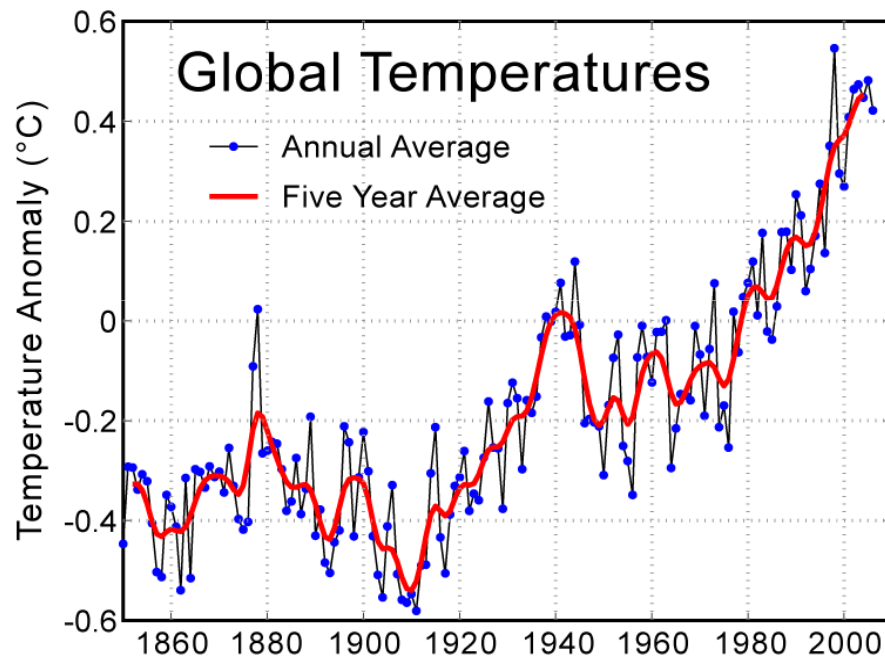
- อุณหภูมิ
- ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ
- น้ำ (ในดิน และ ในอากาศ)
- มลพิษทางอากาศ
- และอื่น ๆ (เช่น ดินเค็ม ...)

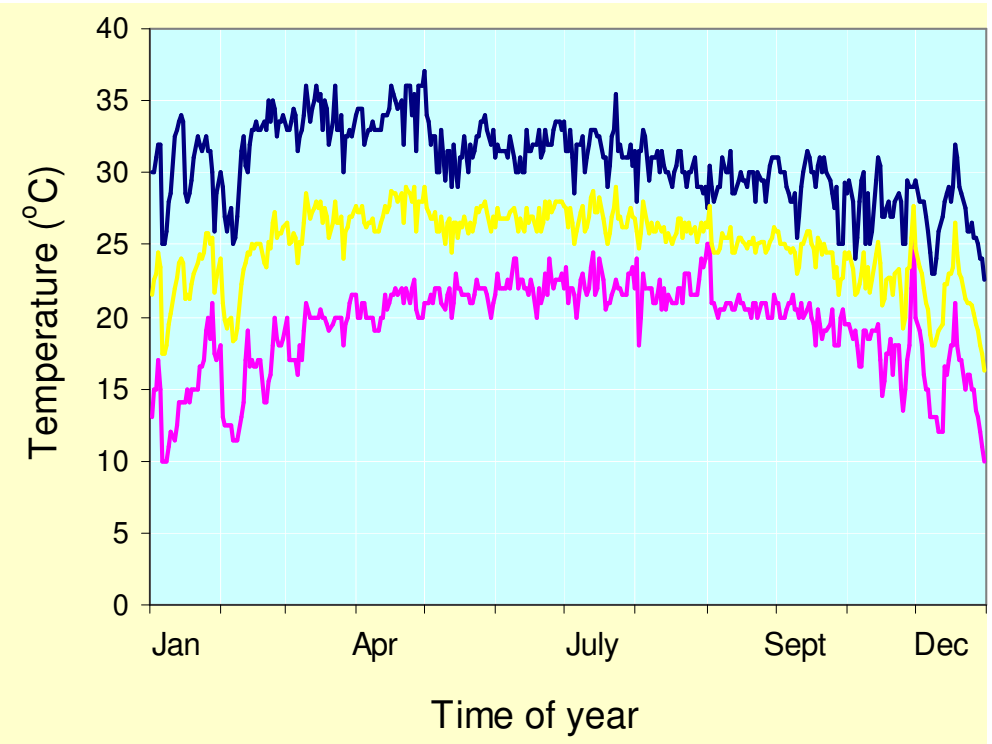
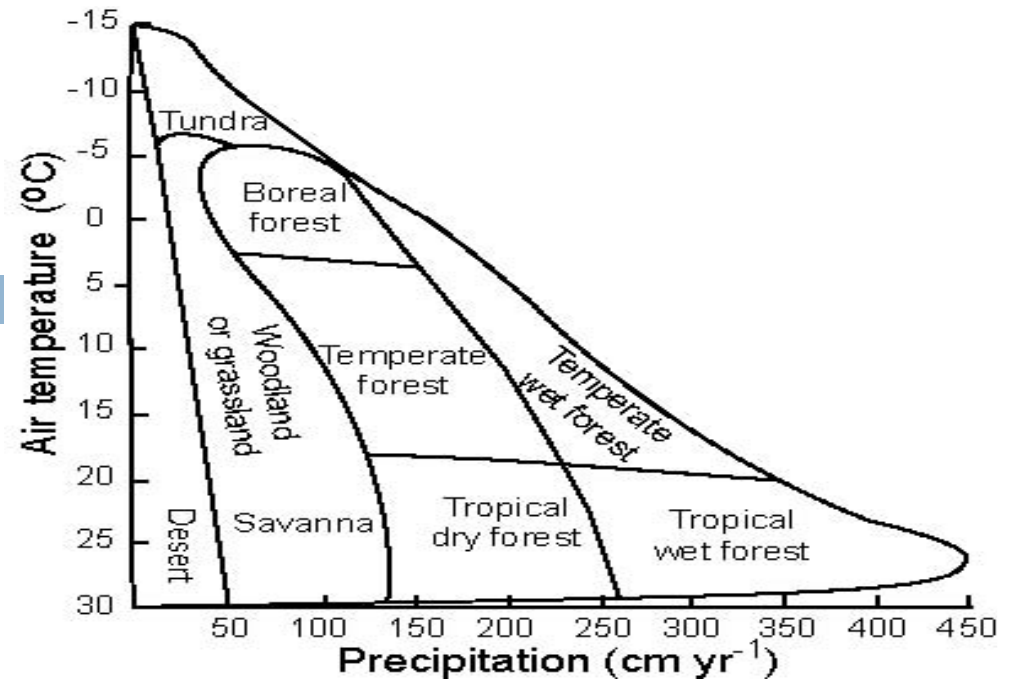
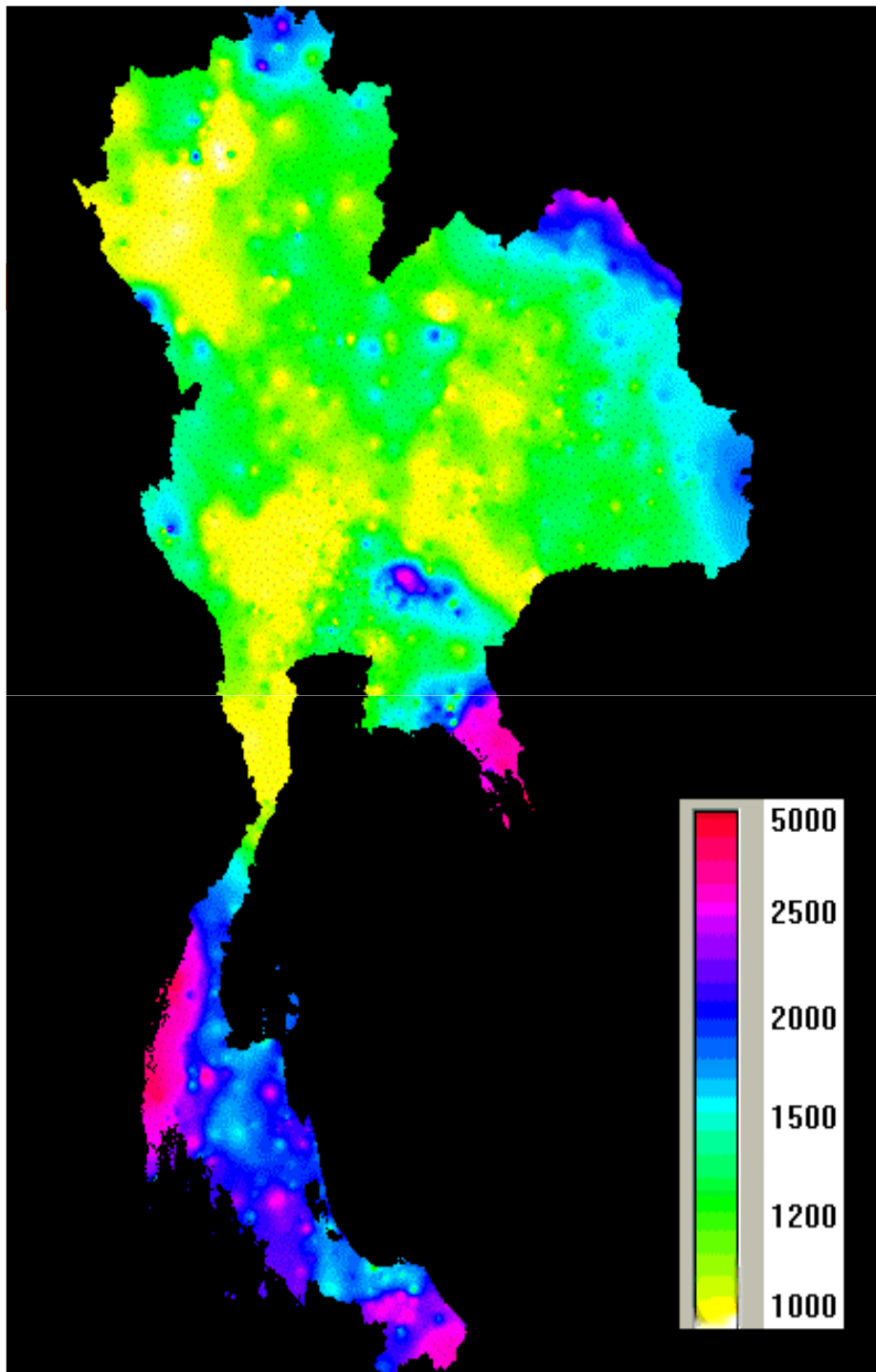
มีความแปรปรวน และความรุนแรง มากขึ้น !!!

The warming world



Rising CO₂ correlated with rising in temperature





ธรรมชาติของ 'stress'

- สิ่งแวดล้อมภายนอกบางปัจจัย อาจเปลี่ยนแปลงสภาพเป็นปัจจัยที่ไม่เหมาะสมที่สามารถทำความเสียหายให้กับพืชได้ :
 - ▣ ภายในระยะเวลาไม่กี่นาที เช่น
 - อุณหภูมิอากาศ ลม น้ำท่วม เป็นต้น
 - ไม่เปิดโอกาสให้พืชมีเวลามากนักเพื่อปรับตัวเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสรีรวิทยาและลักษณะทางสัณฐานวิทยา
 - ▣ ภายในระยะเวลานานหลายวัน
 - การขาดแคลนน้ำในดิน ปริมาณธาตุอาหารในดิน เป็นต้น
 - พืชมีโอกาสสามารถปรับตัวได้บ้าง

ความสำคัญของพันธุ์

- วงจรการผลิตพืชยืนต้นเศรษฐกิจนั้นมีความยาวนานหลายปี
 - ▣ การเลือกปลูกพันธุ์พืชที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศจึงมีความสำคัญมาก
- กระบวนการปรับปรุงพันธุ์ของพืชยืนต้นเศรษฐกิจต้องใช้เวลายาวนาน
 - ▣ จึงต้องวางแผนเพื่อเตรียมพันธุ์ที่เหมาะสมสำหรับอนาคต
- การปรับปรุงพันธุ์ของพืชยืนต้นเศรษฐกิจ **ทำได้ยากกว่าพืชล้มลุก**

Phenotyping - the new bottleneck in plant science

- Genomics is accelerating gene discovery and novel plant development
 - Developing genetically powerful populations
 - Generating transgenic lines of interest
 - Discovering candidate genes for tolerance to Na⁺, B, drought
- High throughput growth and analysis capacity now the factor limiting discovery of new traits and varieties
 - Need more technology
 - to elucidate function
 - to support forward genetics
- Need to measure effects of gene manipulations on plant function - 'phenotyping'

Mark Tester
Australian Centre
for Plant Functional Genomics

Functional Genomics



□ Genomics

- ▣ High throughput analysis of genes and their immediate products, to study the structure and function of genes and genomes

□ Phenomics

- ▣ High throughput analysis of plant growth and physiology, to reveal the role of each plant gene in the function of the whole plant

Temperature effects

- Phenology
 - ▣ Flowering and fruit set
 - ▣ Bud break, ...
- Photosynthesis
- Respiration
- Transpiration
- On enzyme, membrane,
- Others

Cold stress
Heat stress

อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อบางขั้นตอนที่สำคัญ ต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาของพืช

- อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อกระบวนการต่าง ๆ ของพืช และมีส่วนในการกระตุ้นและชักนำขั้นตอนสำคัญต่าง ๆ ในการเจริญเติบโตและพัฒนาของพืชตลอดทั้งวงจรชีวิต เช่น
 - ▣ การงอกของเมล็ด การออกดอก การพักตัวของตา การหลุดพ้นจากการพักตัวของตา เป็นต้น
- ขั้นตอนต่าง ๆ นี้ยังได้รับอิทธิพลจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ นอกเหนือจากอุณหภูมิอีกด้วย เช่น
 - ▣ แสง ความยาวนานของกลางวัน และความชื้น
 - ▣ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและปัจจัยอื่น ๆ นี้มีความหลากหลายและในหลายกรณีมีความสลับซับซ้อนมาก

Photosynthetic response to temperature

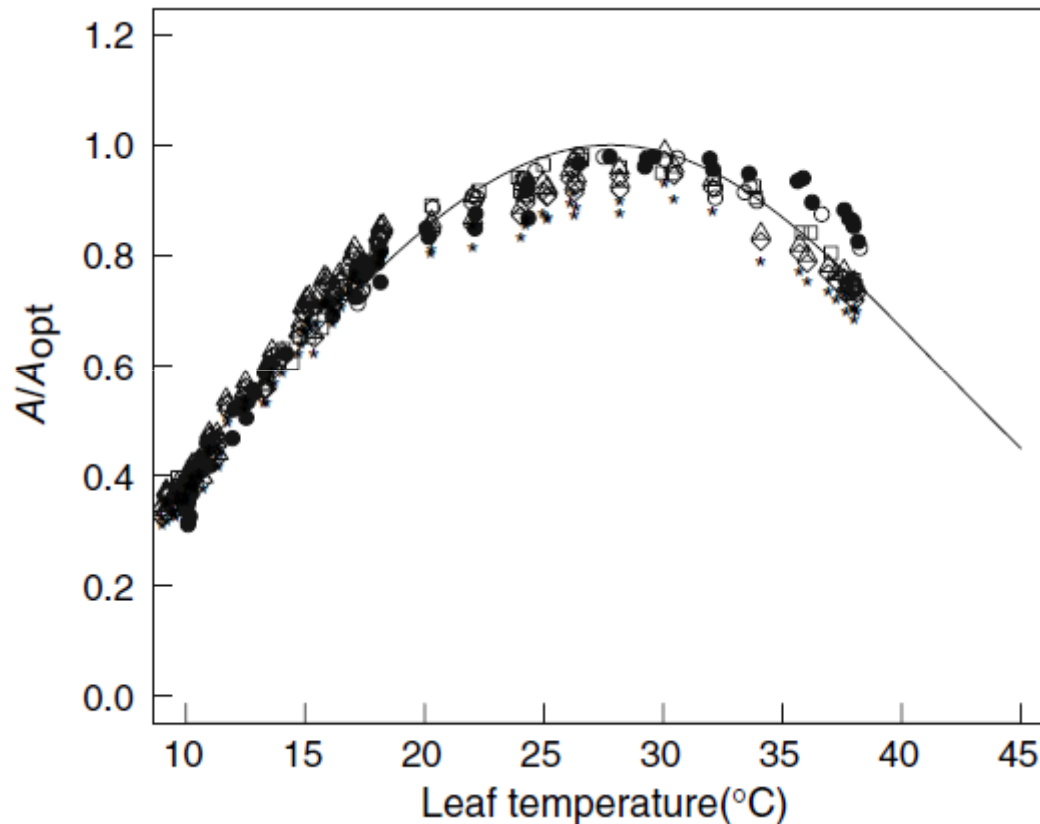
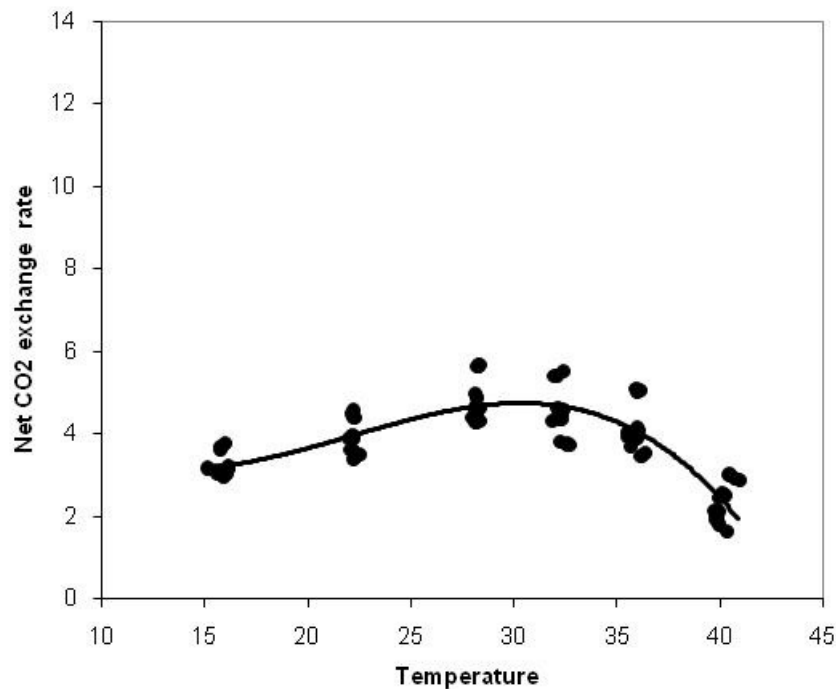


Fig. 1 Example of temperature response of net CO₂ assimilation rate (A) relative to values at optimal temperature (A_{opt}) of six leaves grown in a growth chamber at 28°C. Leaf temperature ranged from 9 to 38°C. A was measured at an ambient CO₂ mole fraction of 350 $\mu\text{mol mol}^{-1}$. *Different symbols represent different leaves*

Kositsup *et al*, 2009.

Importance of acclimation !

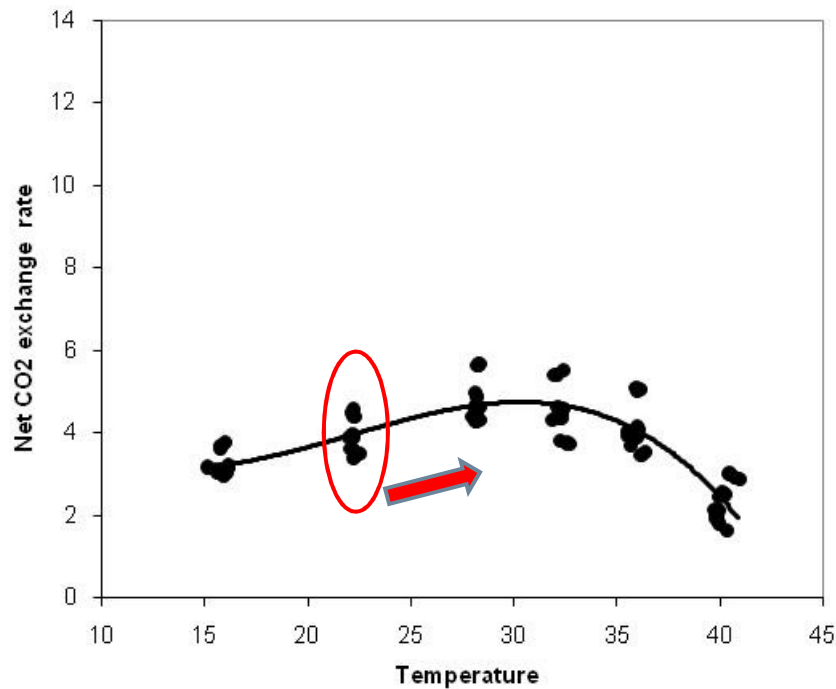
Grown at 18°C



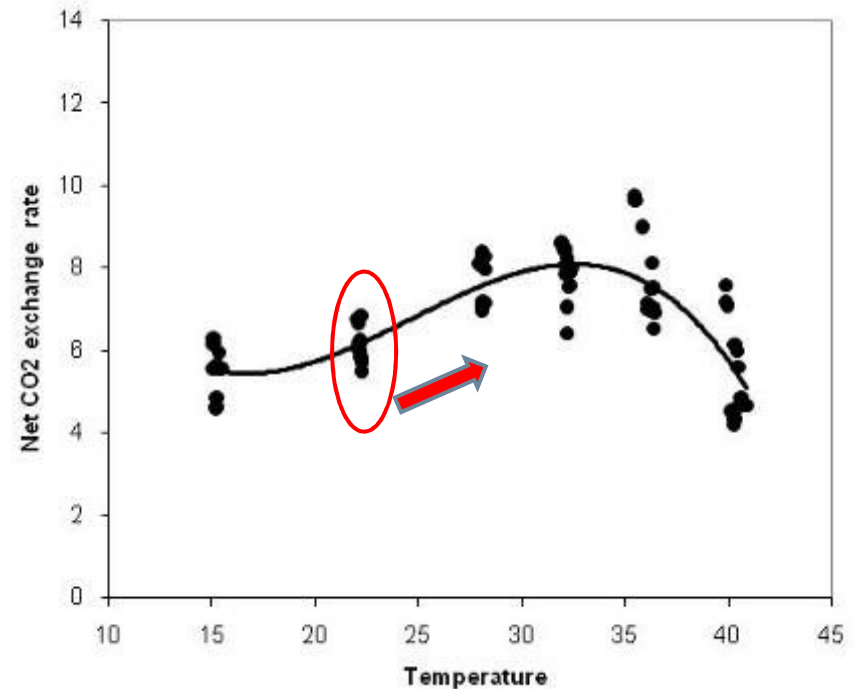
- ถ้ามีข้อมูลชุดเดียวที่ศึกษาเมื่อต้น
ยางพาราเติบโตที่ 18°C
- จะประเมินได้ว่า การเพิ่มอุณหภูมิ
อากาศจาก 22°C เป็น 28°C
จะทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วย
แสงเพิ่มขึ้นประมาณ 15%

Importance of acclimation !

Grown at 18°C



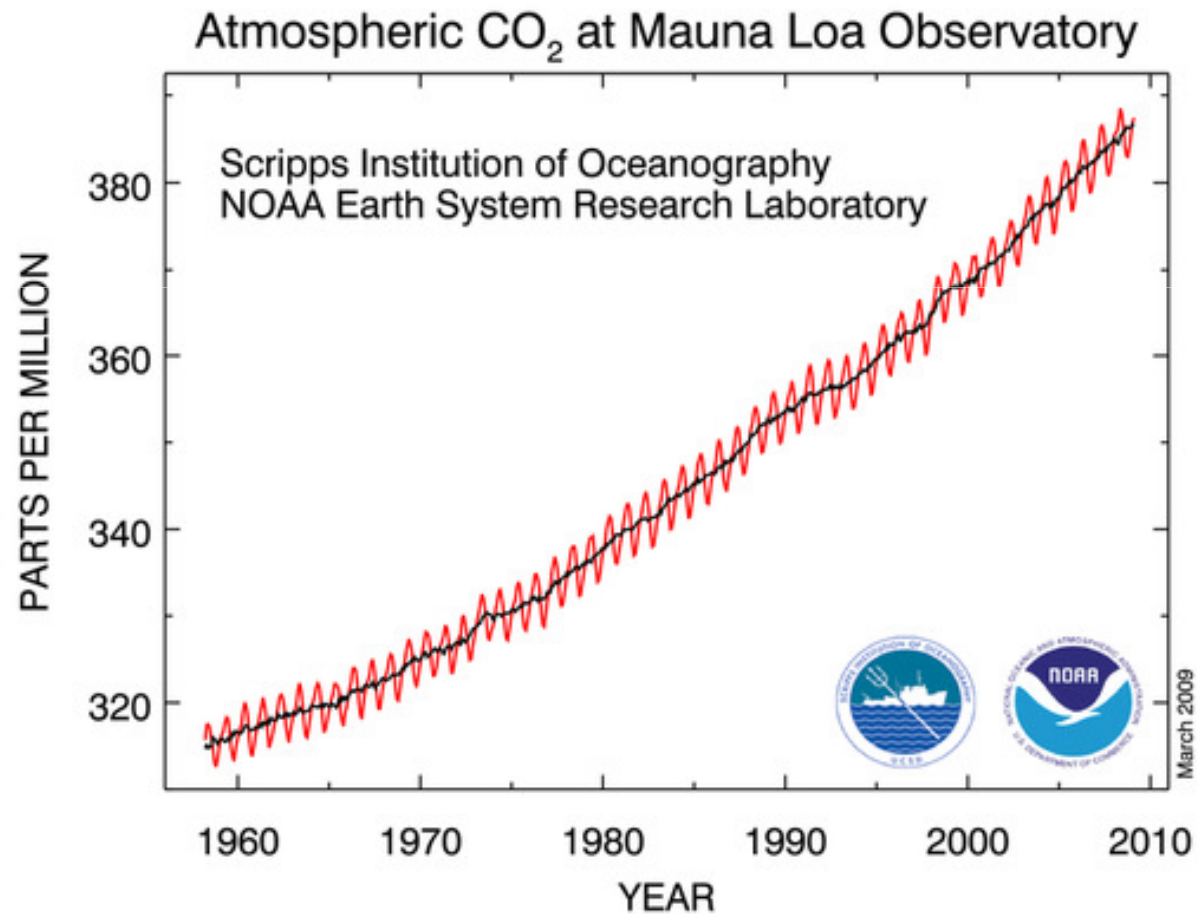
Grown at 28°C



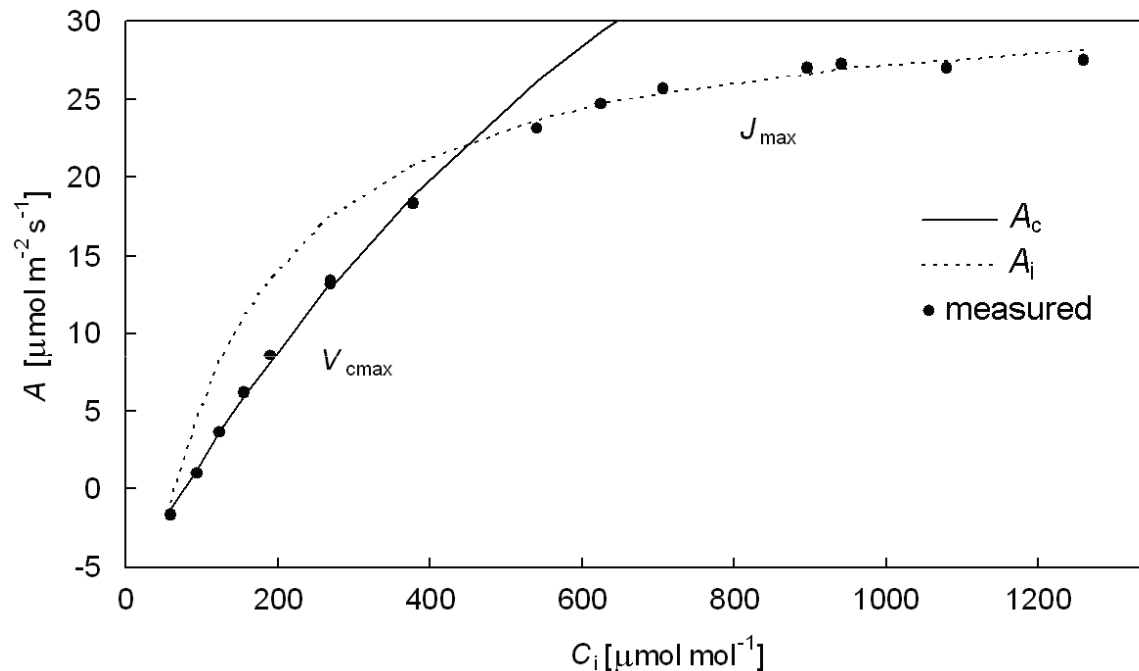
• การ acclimation ที่ 28°C ทำให้

- อัตราการสังเคราะห์แสงที่ 22°C เพิ่มขึ้น 50% (เทียบกับเติบโตที่ 18°C)
- อัตราการสังเคราะห์แสงที่ 28°C เพิ่มขึ้น 25% (เทียบกับที่ 22°C)

Increasing atmospheric CO₂

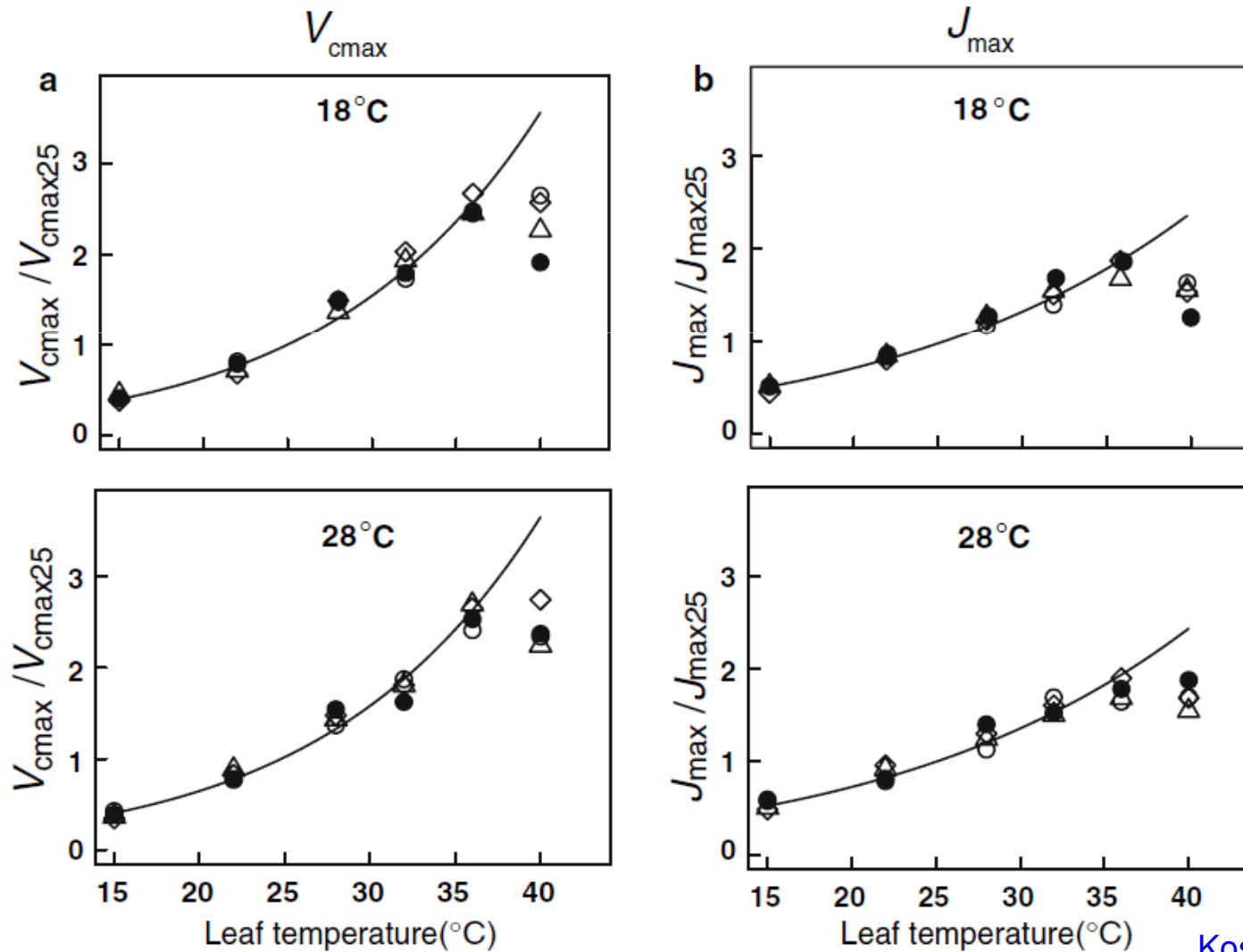


Photosynthetic response to rising CO₂



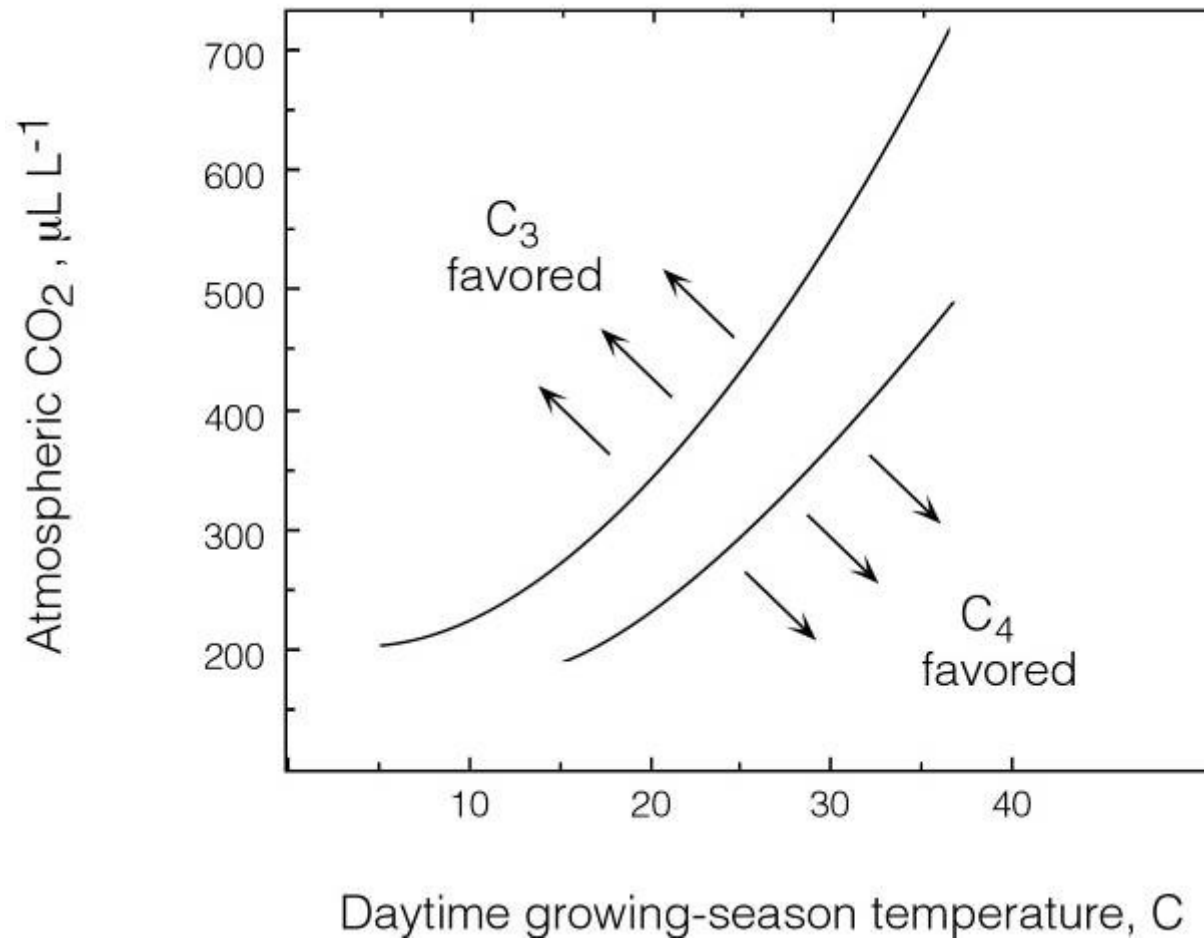
- Fig. 1. Example of one A/C_i curve fitting of a 2-year-old potted RRIM 600 clone measured in October 2006. Farquhar's model was fitted to the data of the response of light-saturated CO₂ assimilation rate (A_{max}) to intercellular CO₂ concentration (C_i) in order to estimate V_{cmax} and J_{max} .

Photosynthetic response to rising CO₂



Kositsup *et al*, 2009.

Counterbalancing effects of T and CO₂



ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับน้ำ

- น้ำน้อยเกินไป
- น้ำมากเกินไป



ผลกระทบจากการขาดน้ำ

- ทำให้ผลผลิตของพืชยืนต้นเศรษฐกิจลดน้อยลงได้มาก

ชาวสวนผลไม้ กว่า 70 ตำบล 728 หมู่บ้าน จังหวัดจันทบุรี กระทบภัยแล้งรุนแรง น้ำเริ่มแห้ง ขอด กินพื้นที่กว่า 5 หมื่นไร่ ทั้งนี้จะส่งผลกระทบต่อพื้นที่ประสบปัญหาภัยแล้งซ้ำซากในช่วงที่ผลไม้ กำลังจะออกสู่ตลาด

วันที่ 25 ก.พ. 2554)

tv11.prd.go.th



ชาวสวนผลไม้ กว่า 70 ตำบล 728 หมู่บ้าน จังหวัดจันทบุรี กระทบภัยแล้งรุนแรง น้ำเริ่มแห้ง ขอด กินพื้นที่กว่า 5 หมื่นไร่ ทั้งนี้จะส่งผลกระทบต่อพื้นที่ประสบปัญหาภัยแล้งซ้ำซากในช่วงที่ผลไม้กำลังจะออกสู่ตลาด เทป เกษตรกรชาวสวนผลไม้ ในพื้นที่ 8 อำเภอ 76 ตำบล 728 หมู่บ้าน ของจังหวัดจันทบุรี ซึ่งประกอบด้วย อำเภอเขาฉกรรจ์ ฆะขาม โป่งน้ำร้อน สอยดาว แก่งหางแมว ท่าใหม่ นายายอาม และอำเภอขลุง กำลังประสบปัญหาภัยแล้งคุกคามอย่างรุนแรง ต้องอาศัยรถบรรทุกน้ำจากองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ในช่วงที่ผลผลิตชุดแรกกำลังจะออกสู่ตลาดระหว่างเดือนมีนาคม-เมษายน โดยเฉพาะพื้นที่อำเภอ โป่งน้ำร้อน และสอยดาว ต้องประสบปัญหาภัยแล้งซ้ำซาก ไม่มีแหล่งน้ำต้นทุนประกอบกับเป็นแหล่งเพาะปลูกผลไม้ส่งต่างประเทศ ขณะที่เขตพื้นที่อำเภออื่น ผลไม้รวมถึงพืชเศรษฐกิจก็ประสบปัญหารุนแรงไม่แพ้กัน แม้ทางกรมชลประทานจะได้มีการเร่งขุดคลองผันน้ำแก้ปัญหาภัยแล้งและอุทกภัย แต่คาดว่าจะไม่ทันต่อความต้องการใช้น้ำของเกษตรกรชาวสวนใน

กลยุทธ์ของการปรับปรุงพันธุ์ให้ทนทานต่อการขาดน้ำ แตกต่างกันไปขึ้นกับสภาพภูมิอากาศและดิน

- พื้นที่เพาะปลูกพืชในโลกล้วนใหญ่มีปัญหาการขาดแคลนน้ำ
ในบางช่วงเวลาของการเพาะปลูก
 - เป็นปัญหาใหญ่ที่จำกัดผลผลิตของพืชปลูกได้แม้ในเขตที่มีปริมาณน้ำค่อนข้างมากเช่นในประเทศไทย
 - ทั้งนี้เนื่องเพราะการกระจายของฝนที่ไม่สม่ำเสมอทำให้มีช่วงระยะเวลาที่ขาดแคลนน้ำและเป็นช่วงที่การขาดน้ำจำกัดการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช
 - ตัวอย่างในยางพารา และไม้ผล

เป้าหมายของการปรับปรุงพันธุ์อย่างพารา ให้ทนแล้ง

□ ยางพาราอายุน้อย ที่ยังไม่ได้เปิดกรีด

□ ให้รอดตาย เมื่อเผชิญแล้ง

□ ให้เติบโตได้บ้าง เมื่อเผชิญแล้ง

□ ยางที่เปิดกรีดแล้ว

□ ให้ผลผลิตลดลงน้อย เมื่อเผชิญแล้ง

Definition

ของการทนแล้ง

- รอดตาย
- ผลผลิตลดไม่มาก
- อื่น ๆ

Traits ใดบ้าง ช่วยให้ต้นยางพาราทน
แล้งได้

Physiological and morphological traits



- ▣ Root and shoot growth and development,
- ▣ the sensitivity of leaf expansion,
- ▣ the extent of leaf abscission,
- ▣ Leaf water status
- ▣ stomatal sensitivity to water deficit,
- ▣ photosynthesis
- ▣ carbon isotope discrimination
- ▣ xylem embolism
- ▣ the potential for osmotic adjustment,
- ▣ adjustment of the root : shoot ratio, and others

การเจริญเติบโตของราก

□ ความสำคัญ :

- ▣ ความแล้งทำให้การเจริญเติบโตของรากลดน้อยลง

□ สมมติฐาน :

- ▣ พันธุ์ที่แข็งแรง (ทนแล้ง) มีรากที่เจริญเติบโตได้มากกว่า ดีกว่า
- ▣ พันธุ์ที่แข็งแรง (ทนแล้ง) มีรากที่เจริญเติบโตลดลงน้อยกว่าในสภาพแล้ง

□ วิธีการตรวจวัด

Rhizotron ร่วมกับเครื่องมือวัดความชื้นในดิน

- ต้องพัฒนาระบบอัตโนมัติ



Study root growth



การเจริญเติบโตของต้น

- ความสำคัญ :
 - ▣ ขนาดลำต้นเป็นปัจจัยกำหนดผลผลิต
- สมมติฐาน :
 - ▣ พันธุ์ที่ทนแล้งจะรักษาระดับเจริญเติบโตในช่วงแล้งได้มาก
- วิธีการตรวจวัด
 1. การตอบสนองในช่วงฤดูแล้ง
 - เปรียบเทียบ Δgirth ช่วงฤดูฝน – ฤดูแล้ง
 2. การตอบสนองต่อความแห้งแล้งระยะสั้น ๆ ในฤดูฝน (ดู **sensitivity**)
 - เปรียบเทียบ **growth** จาก LVDT ช่วงแล้งระยะสั้น ๆ

Carbon partition in *Hevea brasiliensis* Muell.Arg. at trunk scale

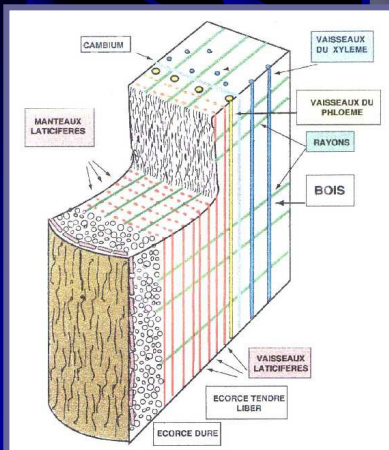
Integrated Study



Radial growth



Respiration activity

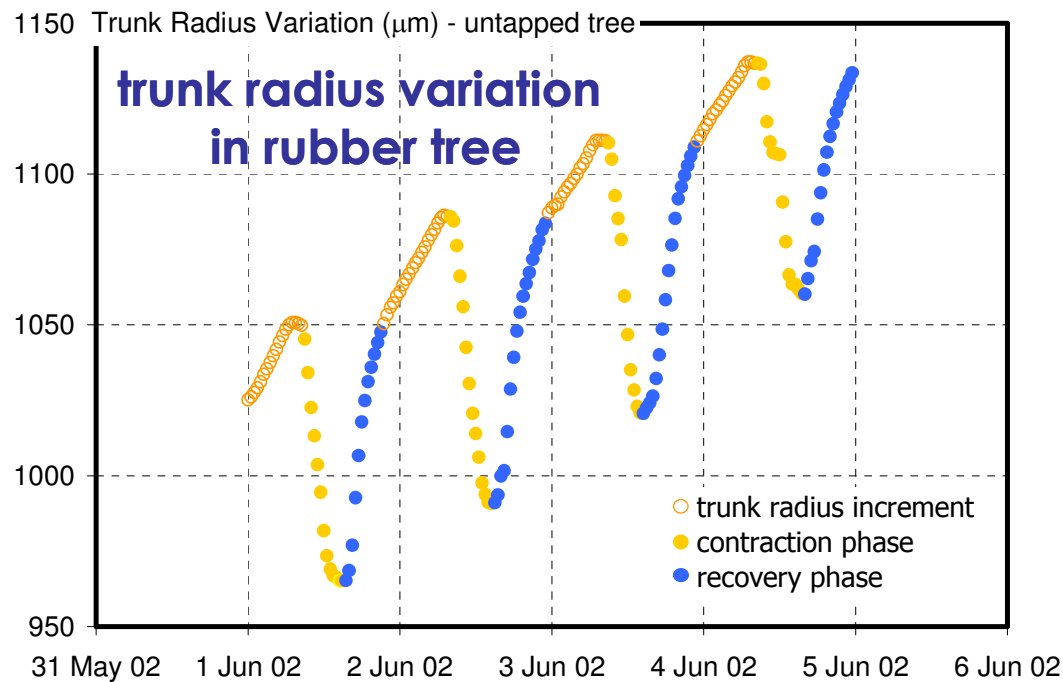


Reserves



Trunk radial growth

Silpi และคณะ (Doras)



Linear Variable Displacement Transducer, LVDT



Resistance System, RS

Trunk movement shrink / swell

- daily transpiration
- latex exploitation
- growth

creation of magnetic field (LVDT)

changes in resistance (RS)

changes in voltage output (mV)

datalogger

radius variation (μm)

การสร้าง (เสีย) พื้นที่ใบและเรือนพุ่ม

□ ความสำคัญ :

- ความแล้งทำให้ยางพาราทิ้งใบ ทำให้ผลผลิตลดลง ช่วงทิ้งใบจะกรีดยางไม่ได้
- ทำให้ได้ผลผลิตน้อย/ลดลงเมื่อฝนทิ้งช่วงของฤดูฝน

□ ประเด็น :

- LAI เปลี่ยนแปลงมาก/น้อย, LAI ลดลงเร็ว/ช้า, LAI กลับคืนสู่ปกติเร็ว/ช้า

□ สมมติฐาน :

- พันธุ์ยางที่ทนแล้ง ทิ้งใบยากกว่า และสร้างใบใหม่ได้เร็วกว่า

□ วิธีการตรวจวัด

- ติดตาม LAI ด้วยภาพถ่าย **fisheye** อย่างต่อเนื่อง

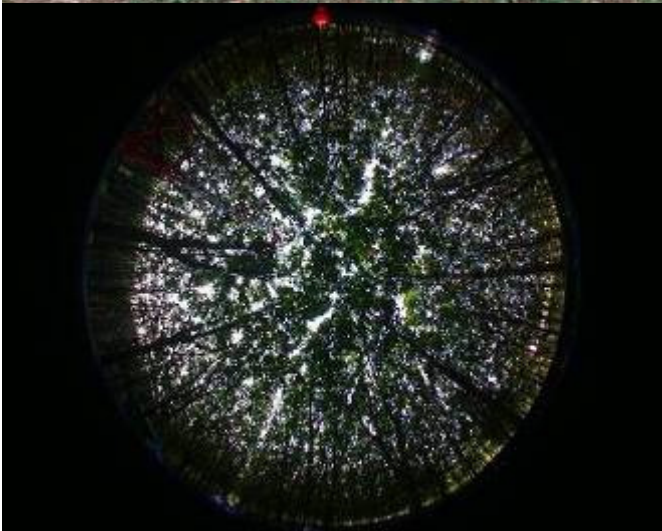
Hemispherical photograph technique



- Using Nikon Coolpix 995 with FC-E8 Fisheye Adapter
- Lens holder was invented to help leveling the camera and measuring the direction



Taking photographs

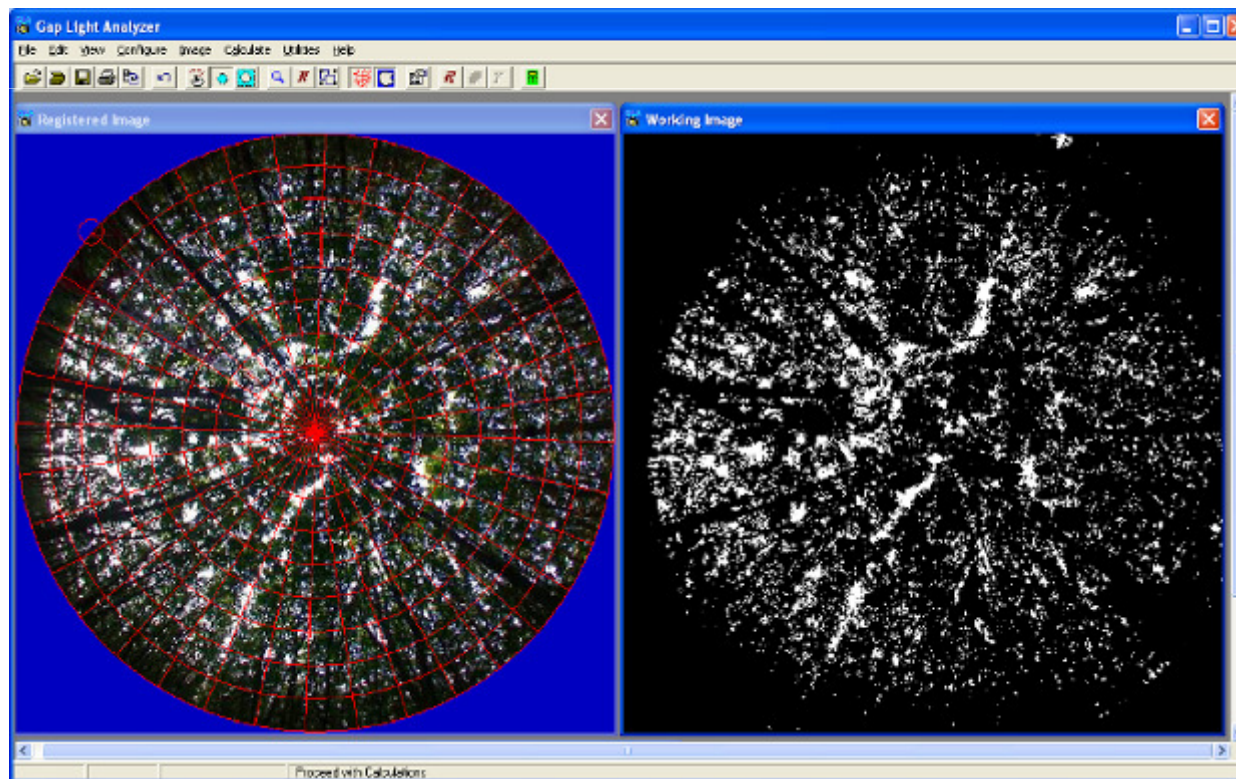


- Taking the photographs in the morning or in late afternoon.
- Using highest resolution as possible
- Taking photograph above the trap
- Taking photographs at the same day the litters were collected.



Estimating PAI

- Gap Light Analyser V.2 was used to estimate PAI
- Photographs were cropped to the measuring area.
- Adjusted threshold until the sky colour became white.
- Calculated PAI



Leaf water status

- ความสำคัญ :

- ยางพาราต่างพันธุ์มีการตอบสนองของ **Leaf water status** ต่อความแล้งแตกต่างกัน

- สมมติฐาน :

- พันธุ์ที่ทนแล้งรักษา **leaf water potential** ไว้ในระดับมากกว่าพันธุ์ปกติในสภาพแล้ง

- วิธีการตรวจวัด

- ใช้เครื่องตรวจวัด **leaf water potential** ในแปลง **GenMap**

การเปิดปิดปากใบ การคายน้ำ และ WUE

□ ความสำคัญ :

- พืชตอบสนองต่อความแล้งโดยปิดปากใบ ลดการสูญเสียน้ำ

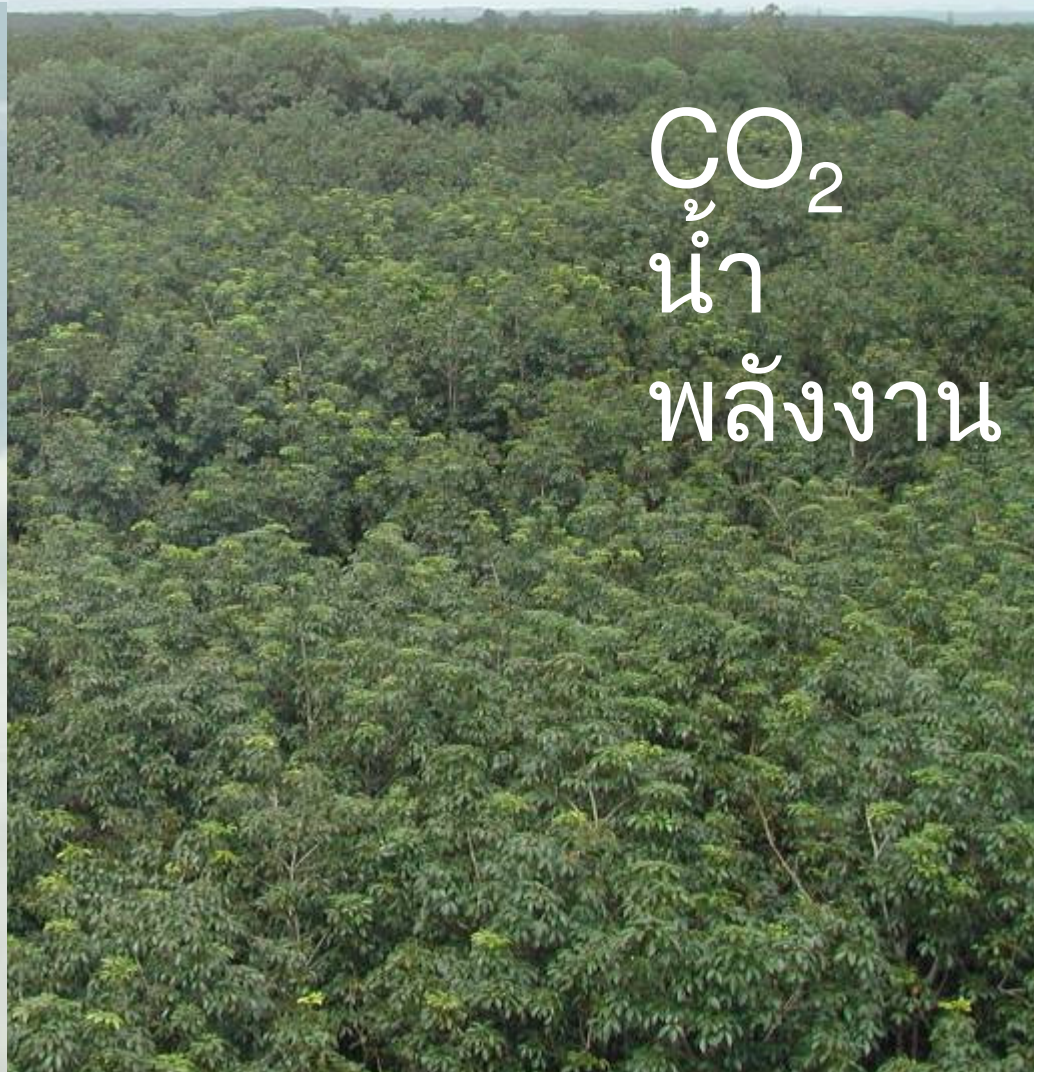
□ สมมติฐาน :

- พันธุ์ที่ทนแล้งปิดปากใบช้ากว่า
- พันธุ์ทนแล้งมี '**stomatal conductance**' น้อยกว่า

□ วิธีการตรวจวัด

- ใช้เครื่องตรวจวัดการเปิดปิดปากใบ และอัตราการคายน้ำ ในแปลงปลูกผสม

โลกร้อน ... กับยางพารา



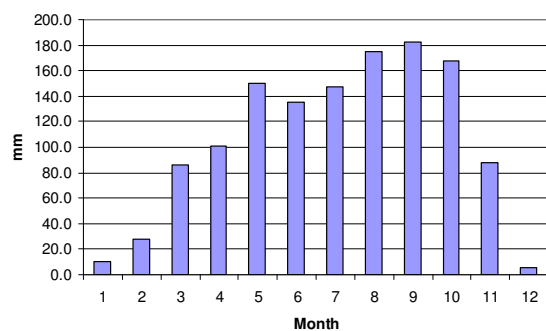
CO₂
น้ำ
พลังงาน



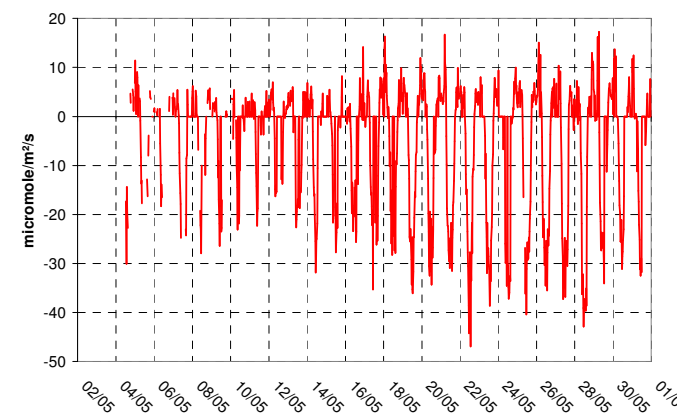
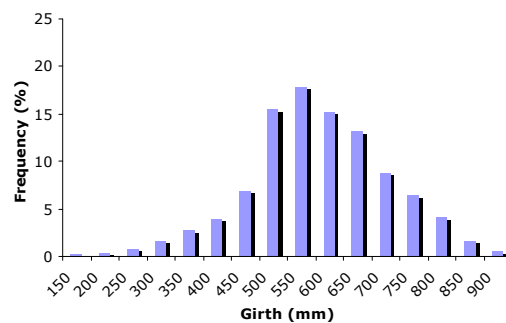
Thailand Chachoengsao province



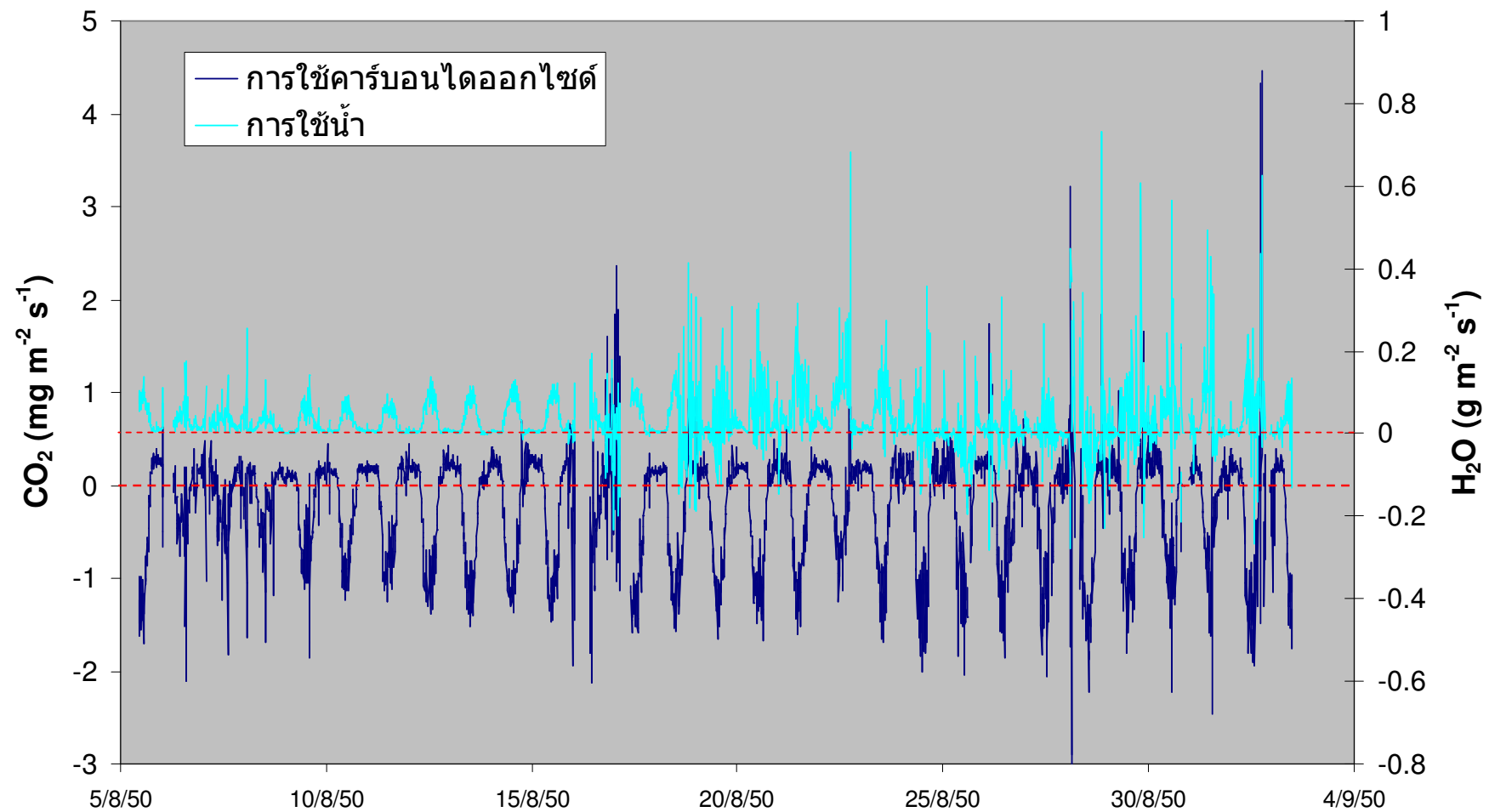
Mean rainfall over 16 years at CIRC (1989-2004)



Girth at 1.7 m



อัตราการใช้น้ำและการตรึง CO_2



เขษภวา และคณะ (มก.)

Water stress index ($\Delta T_{\text{canopy-air}}$)

- ความสำคัญ :

- ▣ บ่งบอกผลกระทบจากแล้งได้เร็ว เครื่องมือราคาไม่แพง

- สมมติฐาน :

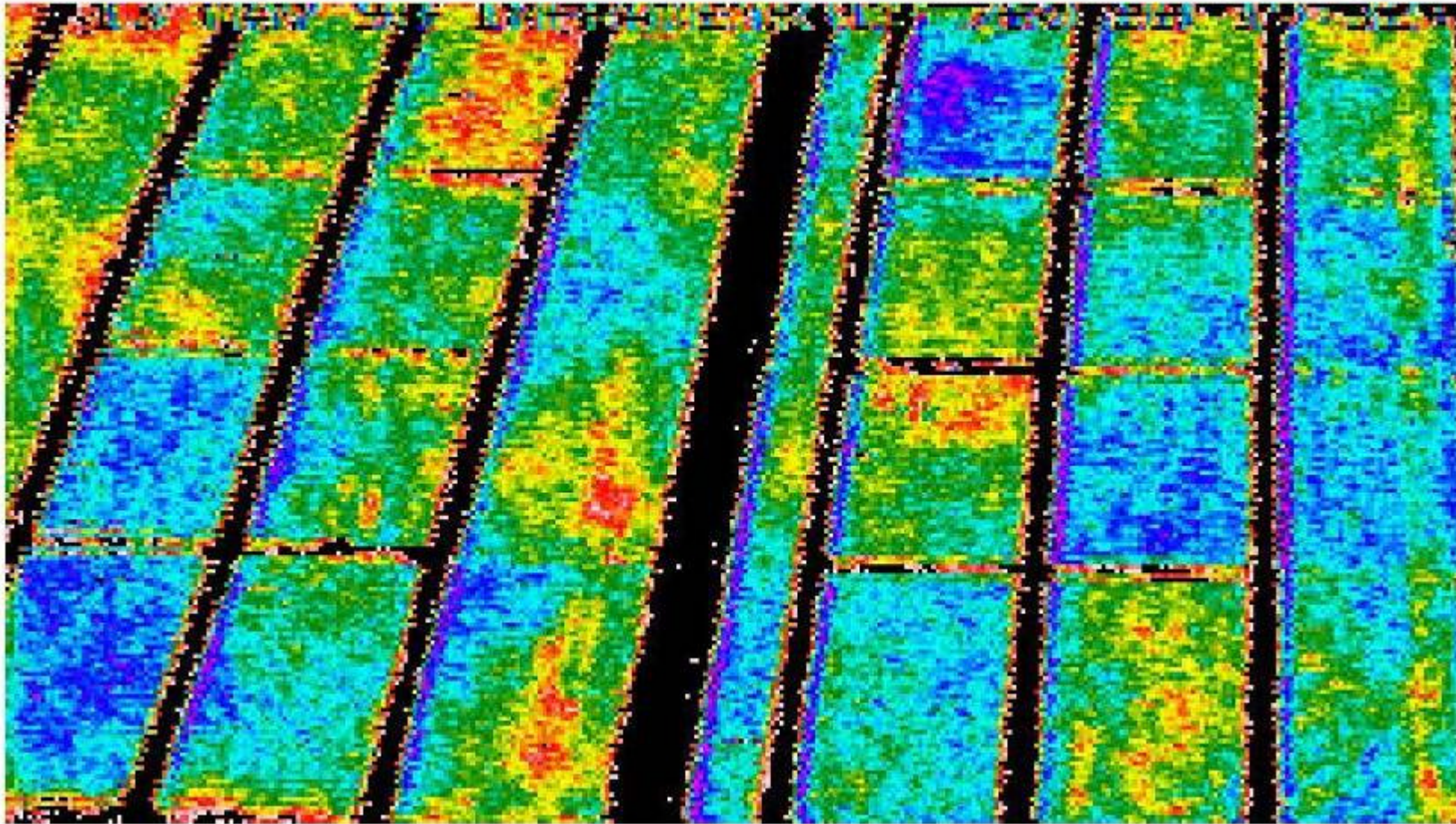
- ▣ พื้นที่ที่ทนแล้ง จะมี $\Delta T_{\text{canopy-air}}$ น้อยกว่าอย่างพื้นที่ปกติ

- วิธีการตรวจวัด

- ▣ ใช้ **infrared gun** ตรวจวัดอุณหภูมิของเรือนพุ่ม เทียบกับอุณหภูมิอากาศ ในระดับความแล้งต่าง ๆ



Thermal image of a crop field



<http://www.uswcl.ars.ag.gov/epd/remsen/irrweb/thindex.htm>

การสังเคราะห์ด้วยแสง

การเรืองแสงของคลอโรฟิลล์

- ความสำคัญ :

- พืชตอบสนองต่อความแล้งโดยปิดปากใบ ลดการสูญเสียน้ำ ทำให้การสังเคราะห์ด้วยแสงลดน้อยลง

- สมมติฐาน :

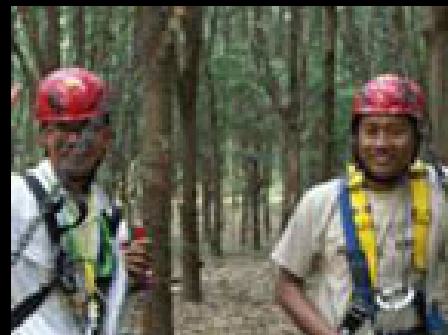
- พันธุ์ที่ทนแล้งสังเคราะห์ด้วยแสงได้น้อยกว่าในสภาพมีน้ำมาก แต่จะสังเคราะห์ด้วยแสงได้มากกว่าในสภาพแล้ง

- วิธีการตรวจวัด

- ตรวจวัดการอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง
และ **chlorophyll fluorescence**
ในแปลงลูกผสม



physiological characteristics study of 13-year-old rubber tree with crane at CRRC in October 2006 , January 2007 and April 2007



Boonthida และคณะ (Doras)

Carbon isotope discrimination

- ^{13}C discrimination สัมพันธ์กับประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืช
- พบความแตกต่างระหว่างพันธุ์ในพืชอื่น ๆ
- งานวิจัยในยางอาจแบ่งเป็น
 - ▣ ศึกษาความแปรปรวนของ ^{13}C discrimination
 - ▣ ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ^{13}C discrimination กับประสิทธิภาพการใช้น้ำ
 - ▣ ถ้าพบความสัมพันธ์ที่ดี จะศึกษาความแตกต่างระหว่างสายพันธุ์
- มีโอกาสที่จะใช้เป็น **trait** หนึ่งใน การคัดเลือกพันธุ์

CID and Water use efficiency

- WUE is defined at the whole-plant level as the ratio between biomass production and water consumption;
 - ▣ it is difficult to measure as such.
- One functional trait that could be of interest as an index for improved or maintained productivity under reduced water availability is intrinsic water use efficiency (W_i),
 - ▣ the ratio between net CO_2 assimilation and stomatal conductance.
- W_i can be indirectly estimated,
 - ▣ via carbon isotope discrimination (Δ),
 - ▣ assuming the occurrence of a linear and negative correlation between Δ and W_i as evidenced in cereals and trees

correlation between Δ and *ring width*

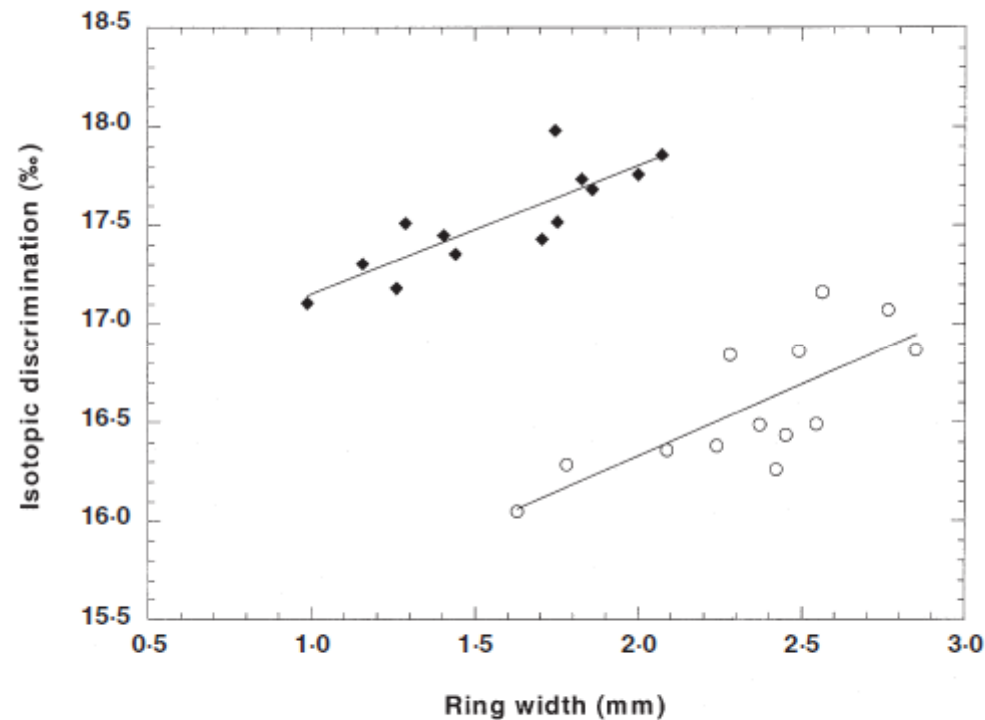


Figure 4. Relationship between average values of Δ_{wood} and ring width from each time period ($\circ = Q. \text{petraea}$, $\blacklozenge = Q. \text{robur}$). Each point is the mean of 10 Δ_{wood} values, corresponding to the 10 selected trees per species.

Correlation: Δ and earlywood vessel area

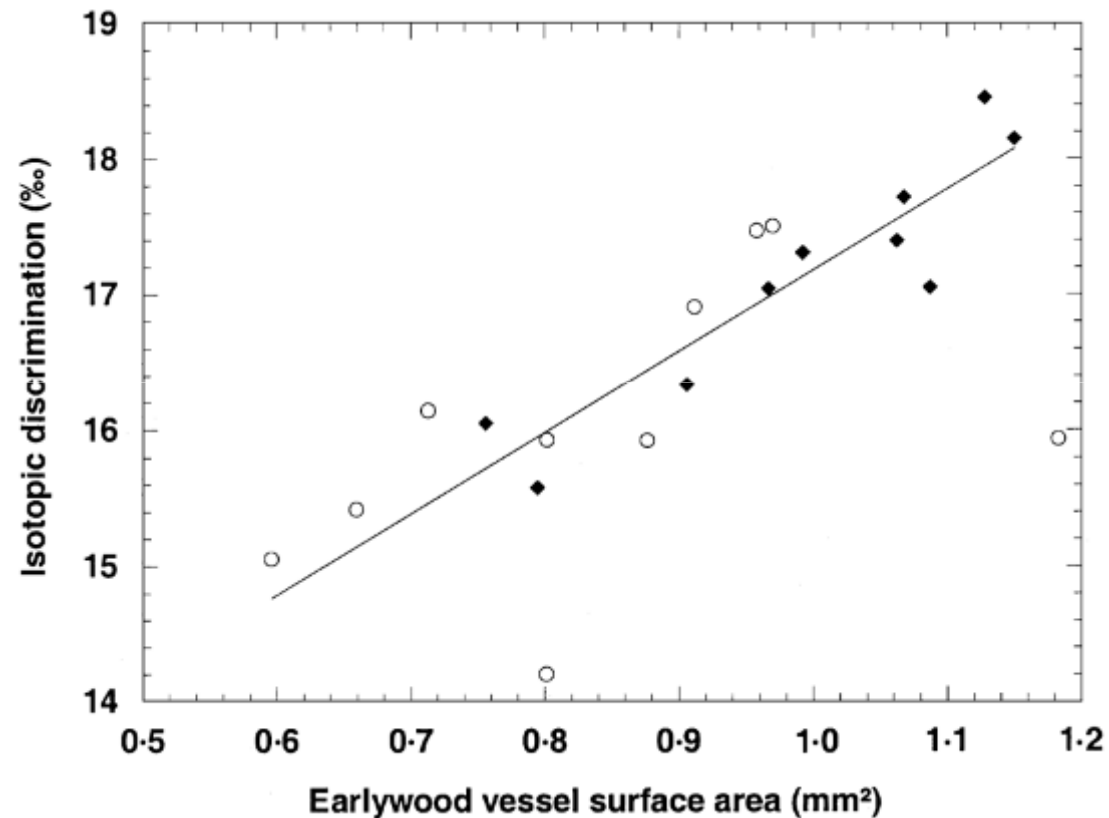


Figure 5. Relationship between isotopic discrimination during 1976 and average tree earlywood vessel surface area ($r = 0.79$, $P = 0.0001$) (O = *Q. petraea*, ◆ = *Q. robur*).

Review

Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress

A. Blum^{*}

Plantstress.com, P.O. Box 16246, Tel Aviv, Israel

ARTICLE INFO

Article history:

Received 12 December 2008

Received in revised form 19 March 2009

Accepted 19 March 2009

Keywords:

Water-use efficiency

Drought resistance

Transpiration

ABSTRACT

Water-use efficiency (WUE) is often considered an important determinant of yield under stress and even as a component of crop drought resistance. It has been used to imply that rainfed plant production can be increased per unit water used, resulting in “more crop per drop”.

This opinionated review argues that selection for high WUE in breeding for water-limited conditions will most likely lead, under most conditions, to reduced yield and reduced drought resistance. As long as the biochemistry of photosynthesis cannot be improved genetically, greater genotypic transpiration efficiency (TE) and WUE are driven mainly by plant traits that reduce transpiration and crop water-use, processes which are crucially important for plant production. Since biomass production is tightly linked

... , breeding for maximized soil moisture capture for transpiration is the most important target for yield improvement under drought stress.

assimilate partitions and reproductive success. It is concluded that EUW is a major target for yield improvement in water-limited environments. It is not a coincidence that EUW is an inverse acronym of WUE because very often high WUE is achieved at the expense of reduced EUW.

การเกิดฟองอากาศใน xylem

□ ความสำคัญ :

- ฟองอากาศยับยั้งการเคลื่อนของน้ำ ขางพาราแต่ละพันธุ์เกิดฟองอากาศยาก-ง่ายต่างกัน

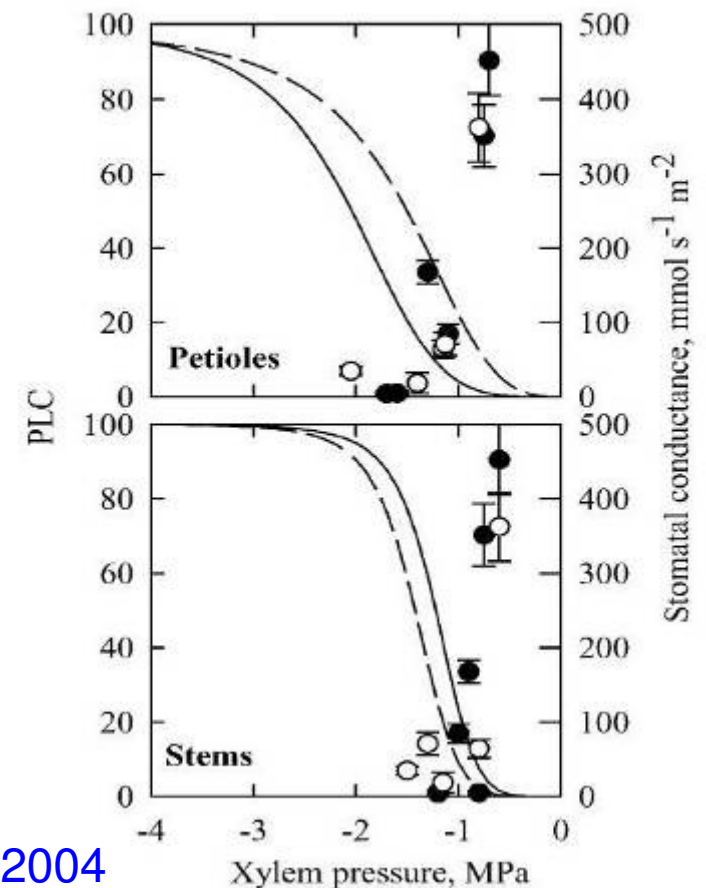
- ปัจจุบันพบความแปรปรวนระหว่างพันธุ์

□ สมมติฐาน :

- พันธุ์ที่ไม่ทนแล้งจะเกิดฟองอากาศได้ง่ายกว่า

□ วิธีการตรวจวัด

- เทคนิคตรวจวัด PLC50
- เทคนิค centrifuge
- วัดใน ก้านใบ และ/หรือ กิ่ง



Sangsing et al., 2004

Canopy Carbon Balance

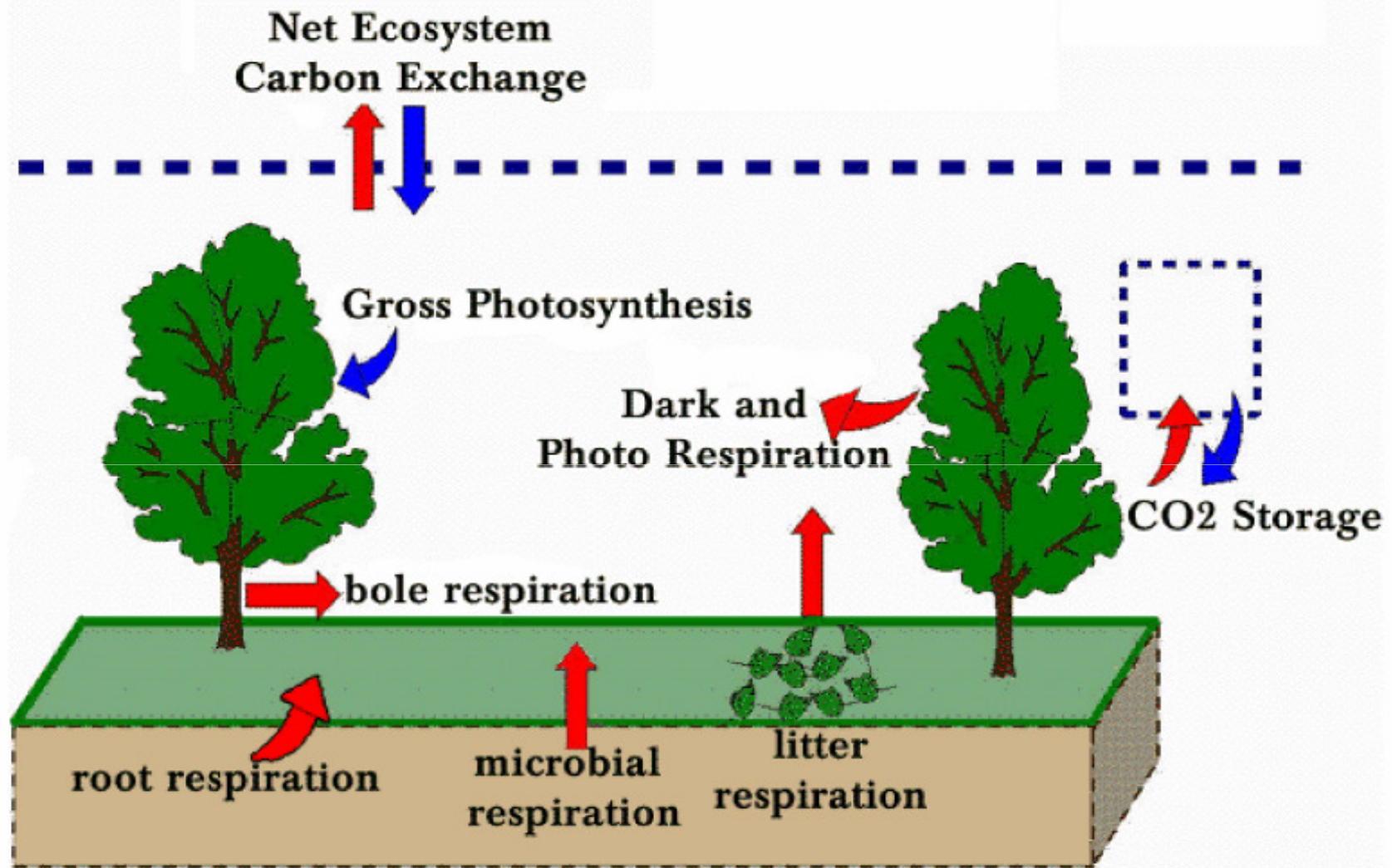


Figure 6 Flows of Carbon dioxide in and out of an ecosystem

From Baldocchi, 2003