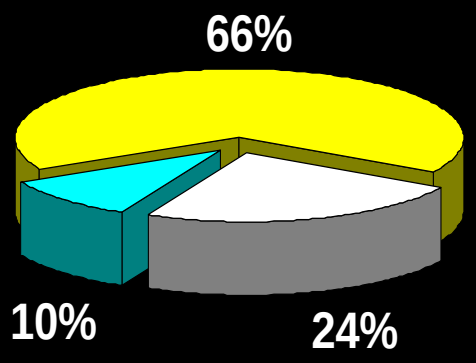
Bitkilerde Abiyotik Stres Faktörleri

Hasan PINAR

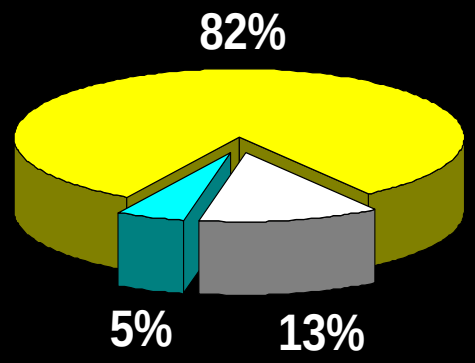
Biyotik ve Abiyotik Stres Faktörlerinin Verime Etkileri

- Biyotik Stersler Sonucu Oluşan Kayıplar
- Dünya Ortalaması
- Abiyotik Stersler Sonucu Oluşan Kayıplar

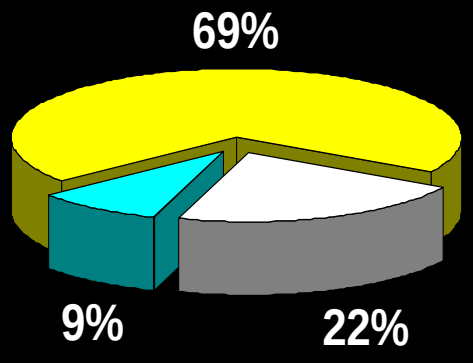
Mısır



Buğday



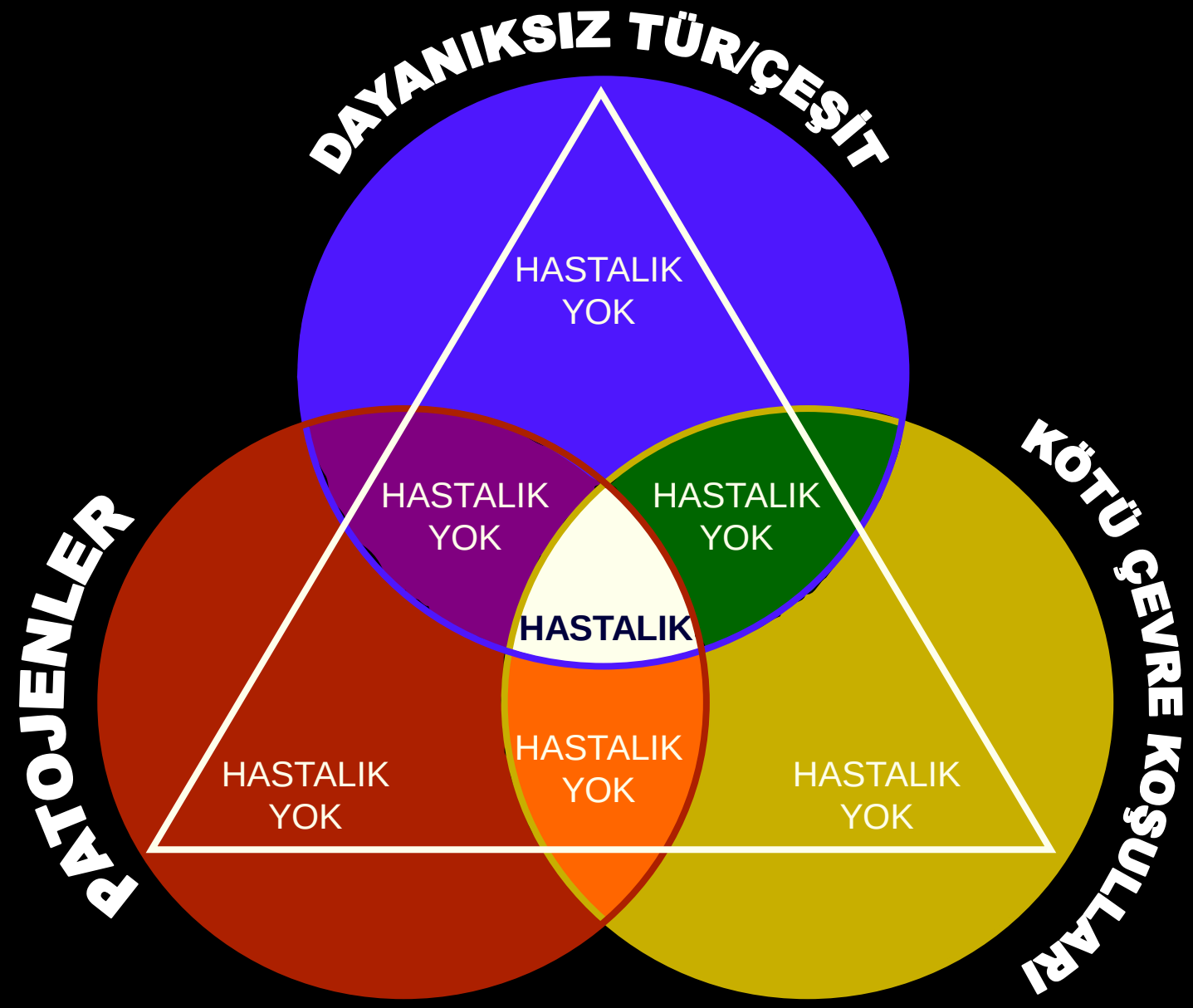
Soya



	Mısır	Buğday	Soya
Rekor Verim: (ton ha^{-1})	**19.3**	**14.5**	**7.4**

EKSTREM SICAKLIKLAR
MİNERAL BESLENME BOZUKLUKLARI
KURAKLIK
ÇEVRESEL KİRLETİCİLER
ABİYOTİK STRES
TUZLULUK
PESTİSİTLER
YÜKSEK IŞIK/UV
DRENAJ SORUNLARI
OZON

SAĞLIKSIZ BİTKİ ÜÇGENİ



Ortam Sıcaklığının Bitki Büyümesine Etkisi

- **Optimum büyüme sıcaklığı türe özgü bir karakter**
- **Soğuk iklim bitkileri: yaşam döngüsünün büyük bölümünü düşük sıcaklıklarda tamamlar (kışlık buğday, lahana, brokoli 4-12°C)**
- **Sıcak iklim bitkilerinin optimum büyüme sıcaklıkları çok daha fazla 22–30°C (domates, mısır, karpuz..)**
- **Çok yıllık bitkiler soğuk dönemler için farklı mekanizmalar geliştirmiştir (dormansi, yaprak dökümü, osmolitlerin artışı, prolin, basit şekerler)**

- **<u>Üşüme (chilling) stresi (0-12°C)</u>**

  Dondurucu olmayan düşük sıcaklıklarda fizyolojik ve/veya yapısal hasarlanma (bitki ölümü dahil)

- **<u>Donma stresi (< 0°C)</u>**

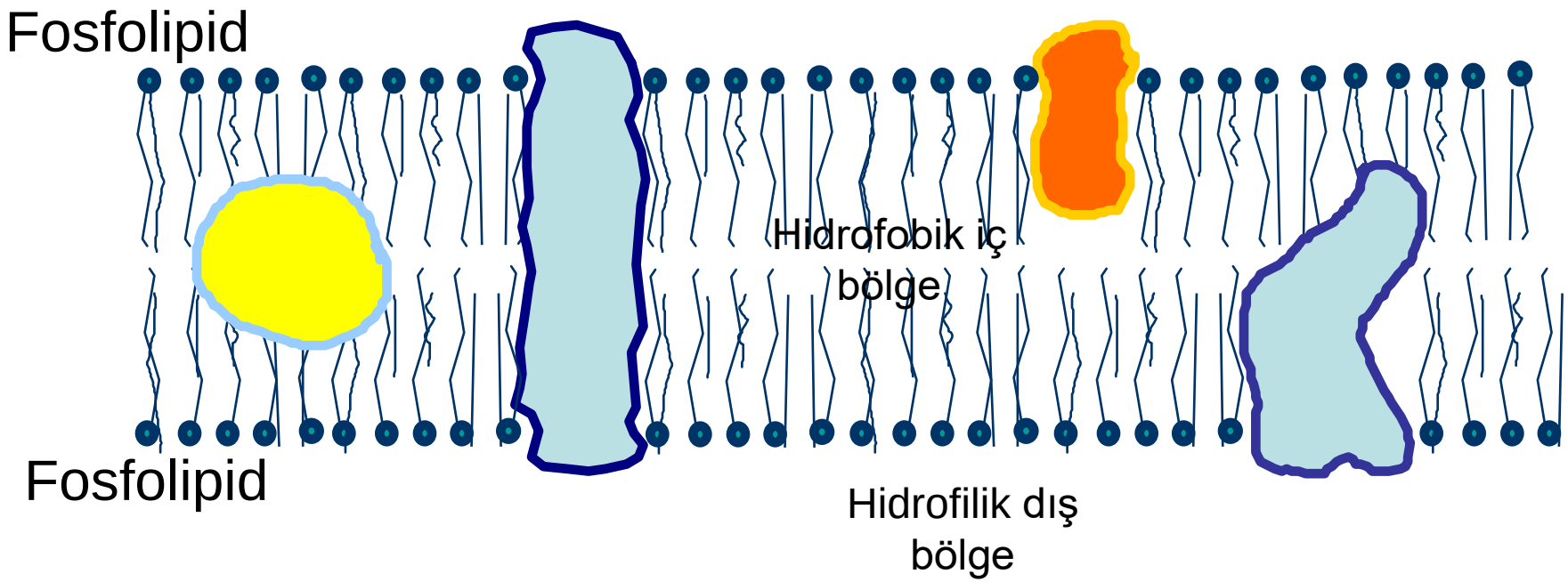
  Doku ve organlarda buz kristalleri oluşumu yoluyla fizyolojik ve/veya yapısal hasarlanmalar

- **<u>Yüksek sıcaklık stresi (>40°C)</u>**

  Kısa veya uzun süreli yüksek sıcaklıklarda metabolik ve fizyolojik hasarlanma

biyolojik membranlar...

- **Bitkisel hücrelerin ve içerisindeki organellerin etrafındaki fosfolipid ve protein moleküllerinin "akışkan mozaik" şeklindeki dizilimidir**
- **Çoğu stres koşullarında ilk zarar gören hücresel yapı membranlardır**



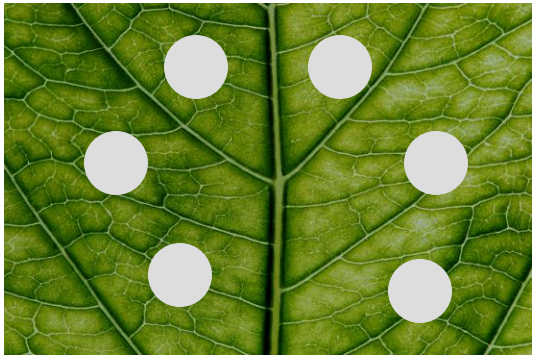
biyolojik membranlar...

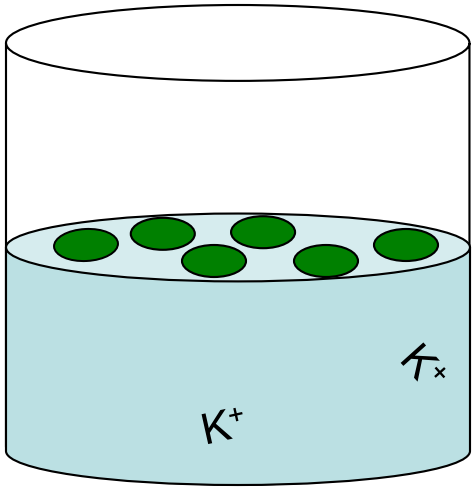
plasmalemma, tonoplast, tilakoidler, mitokondriyal membranlar, nükleus zarı, veziküller, golgi cisimciği...

- **Foksiyonel olması için akışkanlığını korumalıdır**
- **Faz değişim sıcaklığının altında (ör. düşük sıcaklık stresi) katılaşma görülür (foksiyon yitimi)**
- **Yağ asidi zincir uzunluğu ve doygunluk oranı faz değişim sıcaklığına etki yapar (soğuğa alıştırma: cold acclimation)**
- **Yapısal hasarlanma hücresel organizasyonun (compartmentation) bozulması ile sonuçlanır**
- **pH değişimleri, iyonik yük ve potansiyel değişimlerine hassastır**

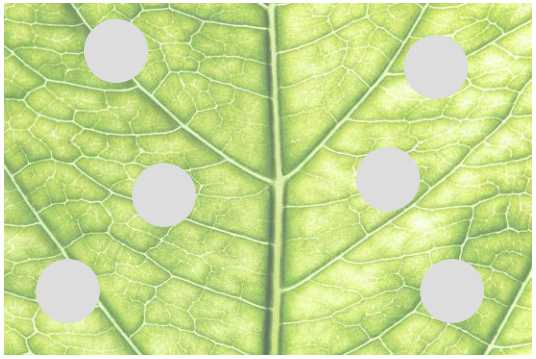
STRES SONUCUNDA ARTAN MEMBRAN GEÇİRGENLİĞİNİN BELİRLENMESİ

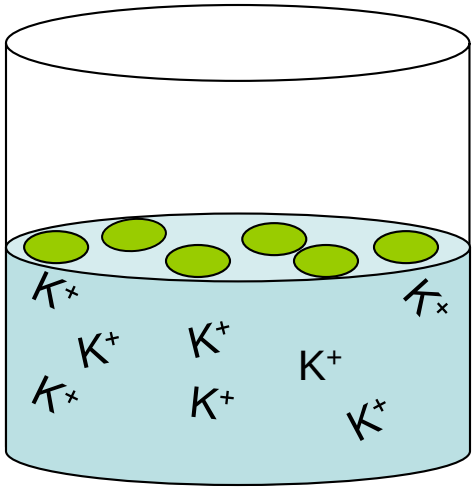
KONTROL



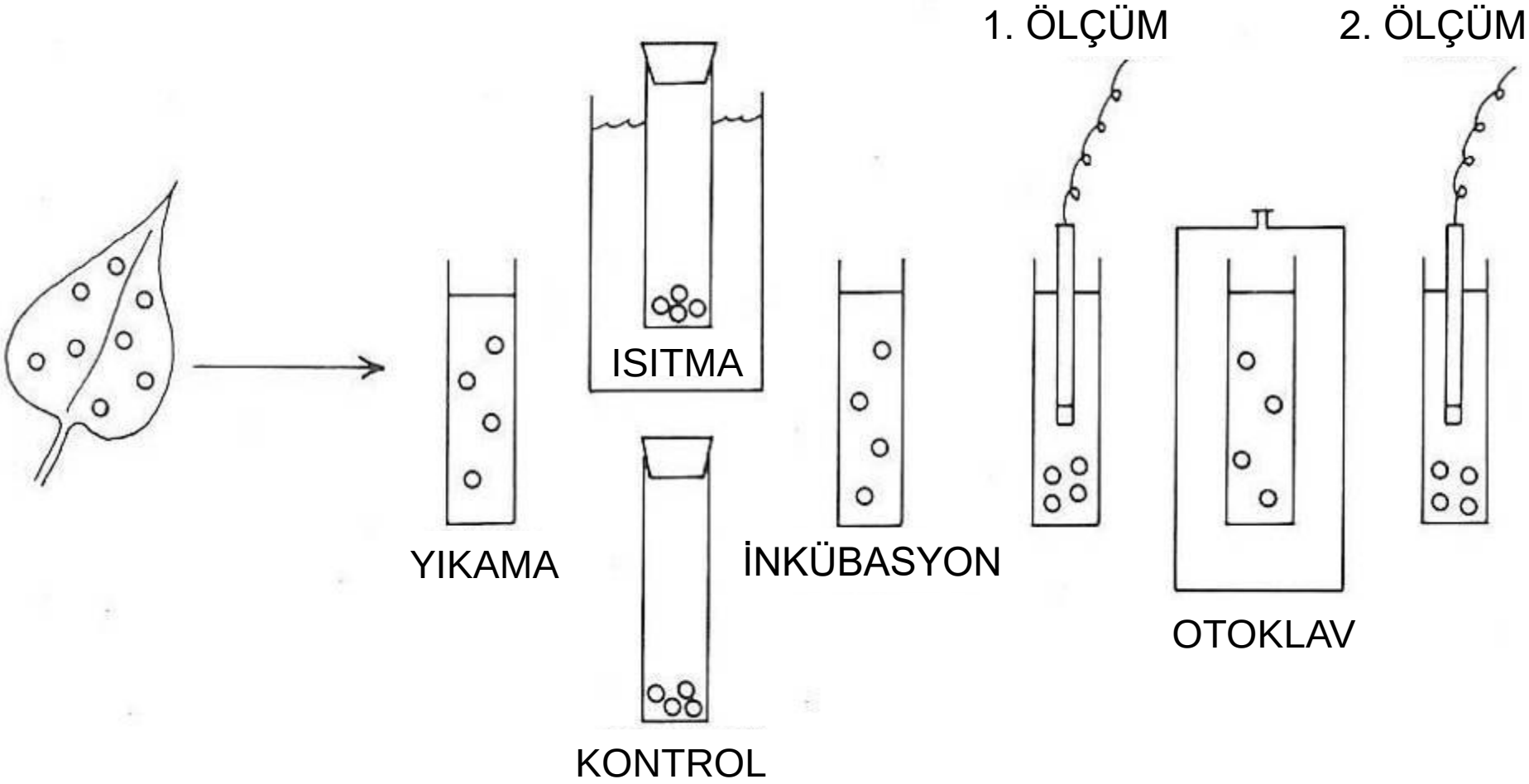


STRES





YÜKSEK SICAKLIK TOLERANSININ *invitro* KOŞULLARDA BELİRLENMESİ



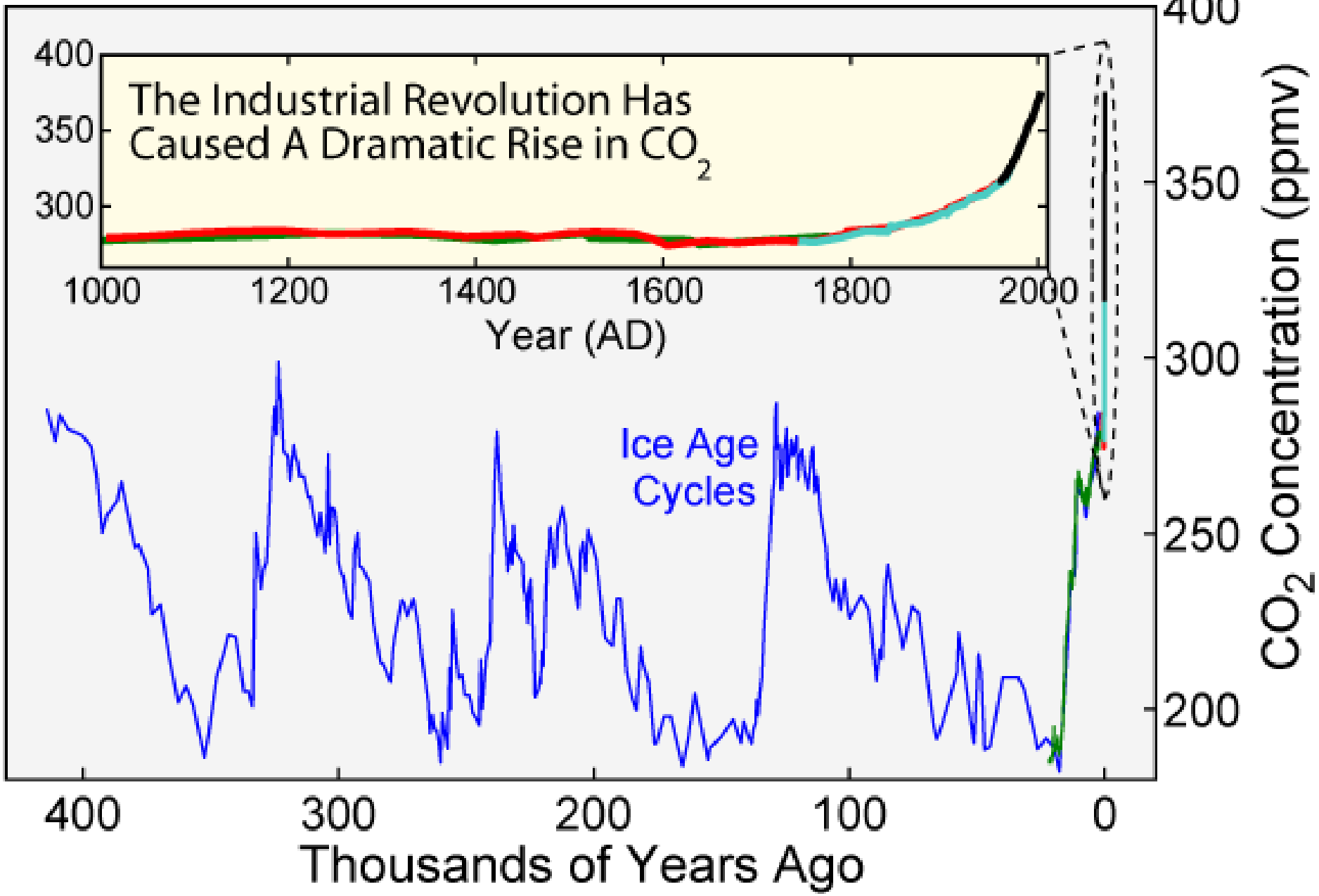
$$\% \text{ Hasarlanma} = 1 - [1 - (T_1/T_2)/1 - (C_1/C_2)] \times 100$$

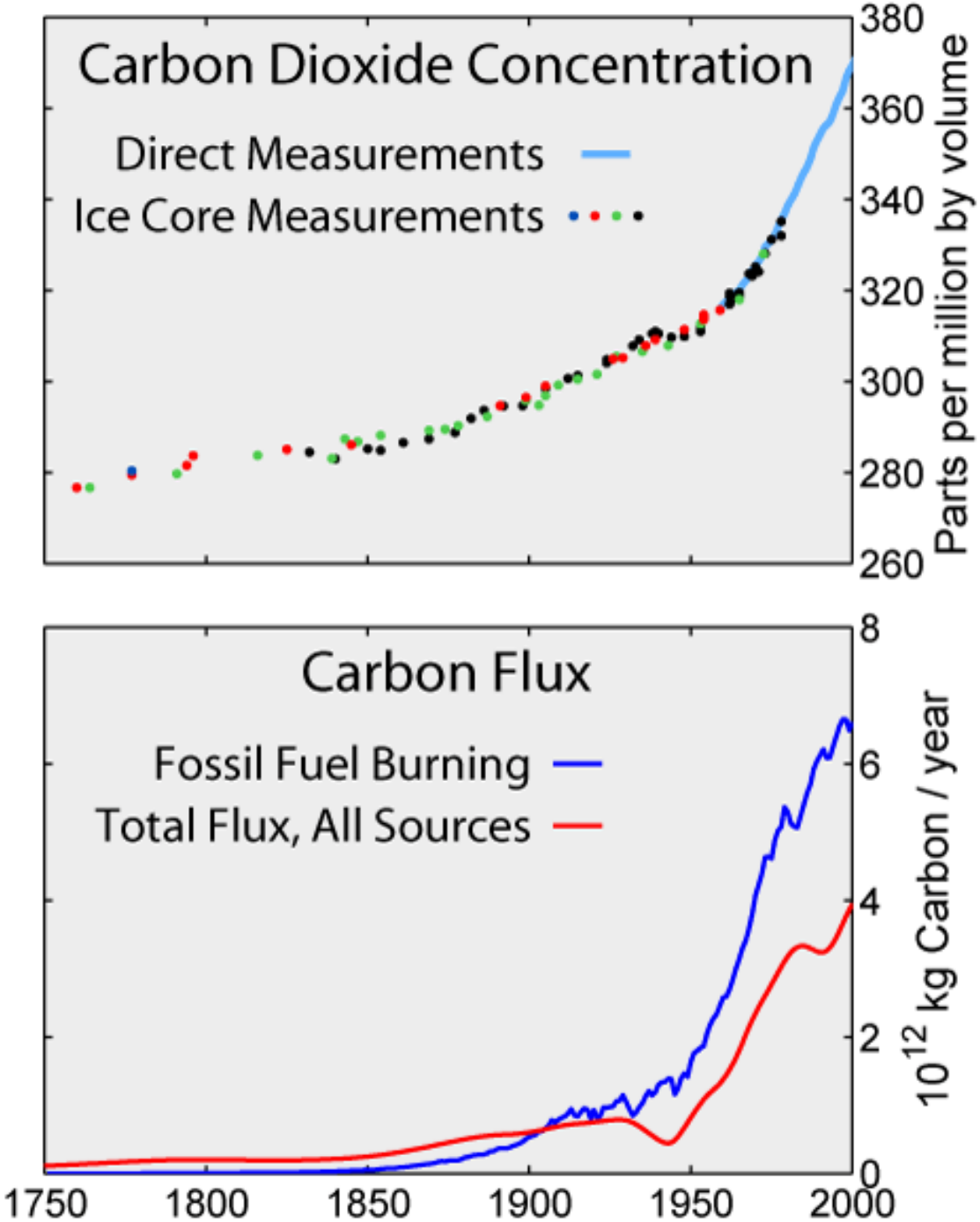
T: uygulama, C: kontrol, 1 ve 2: ilk ve son ölçümler

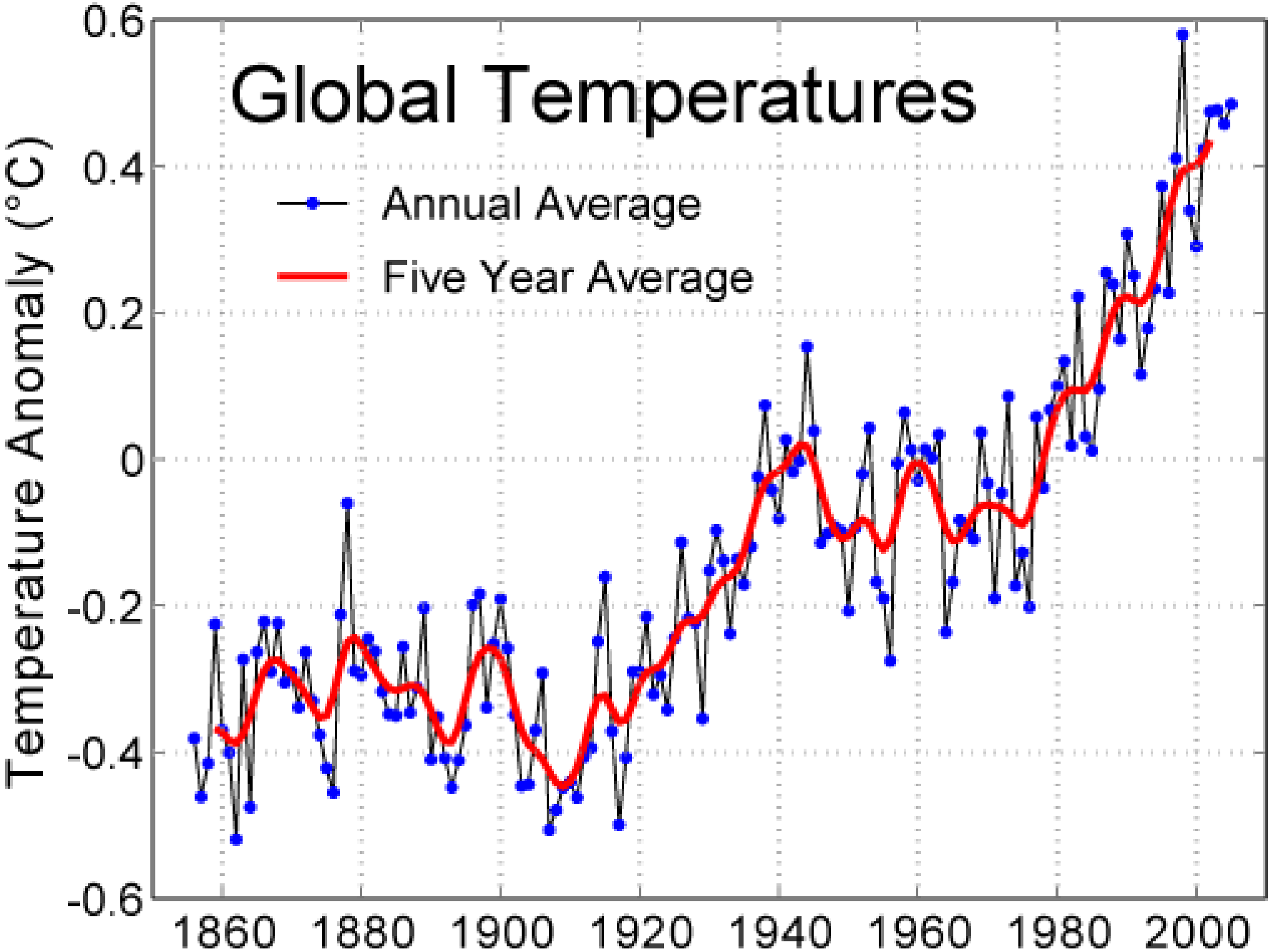
Yüksek Sıcaklık Stresi

- Geçici yüksek sıcaklıklar
- Uzun süreli sıcaklık stresi
- Global ısınma (sera etkisi)

Carbon Dioxide Variations

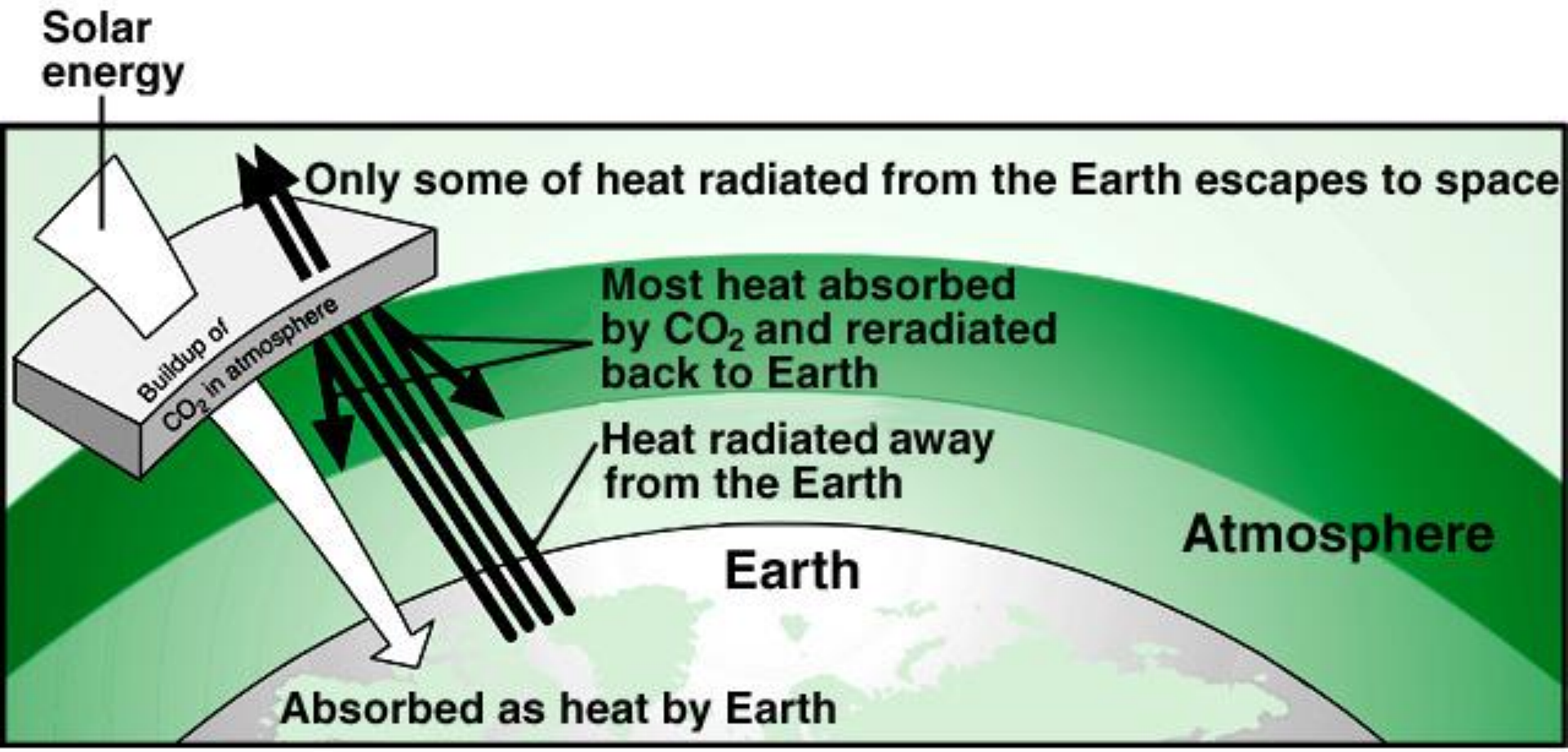


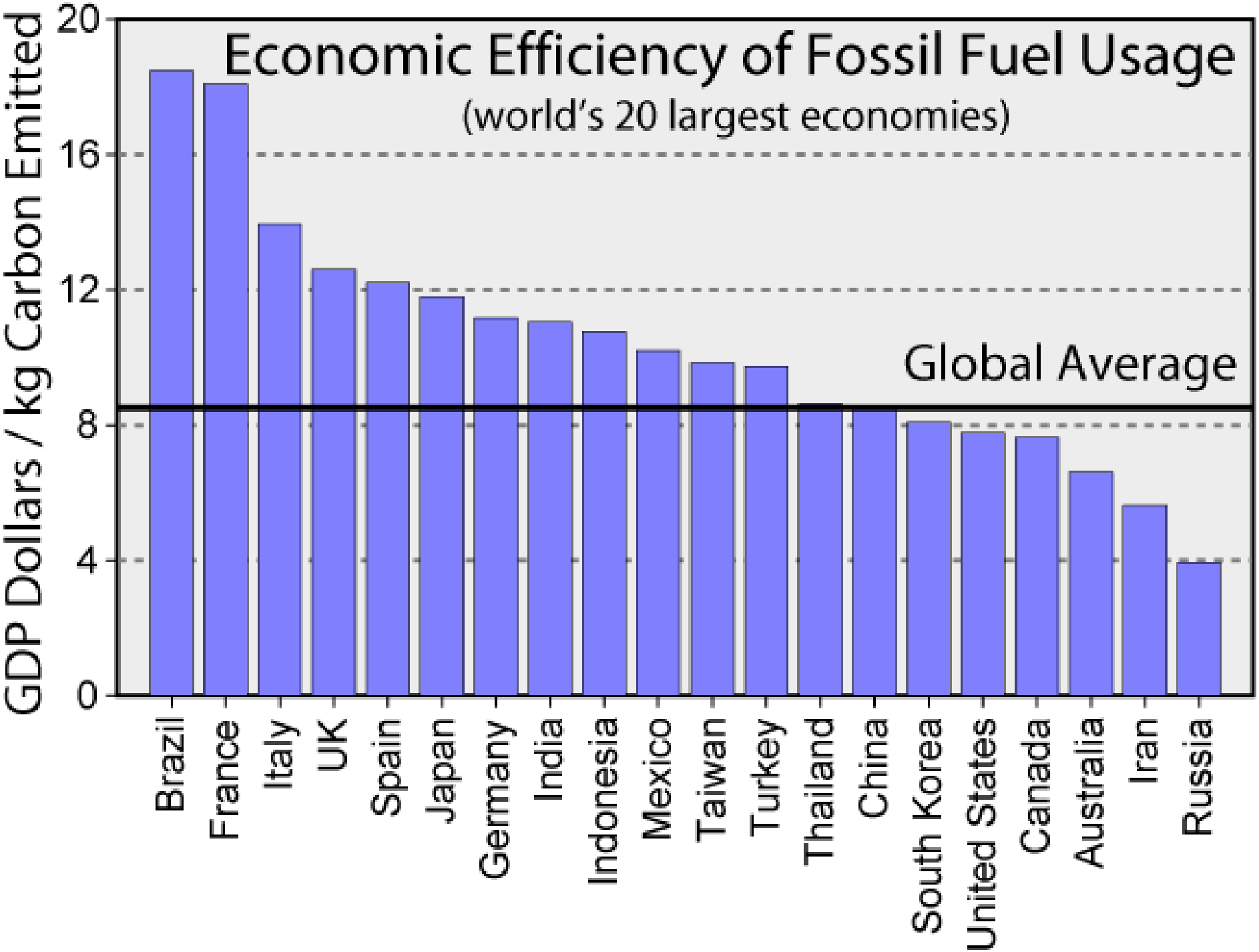

Carbon Dioxide Concentration
Direct Measurements
Ice Core Measurements
380
360
340
320
300
280
260
Parts per million by volume
Carbon Flux
Fossil Fuel Burning
Total Flux, All Sources
8
6
4
2
0
10^{12} kg Carbon / year
1750
1800
1850
1900
1950
2000

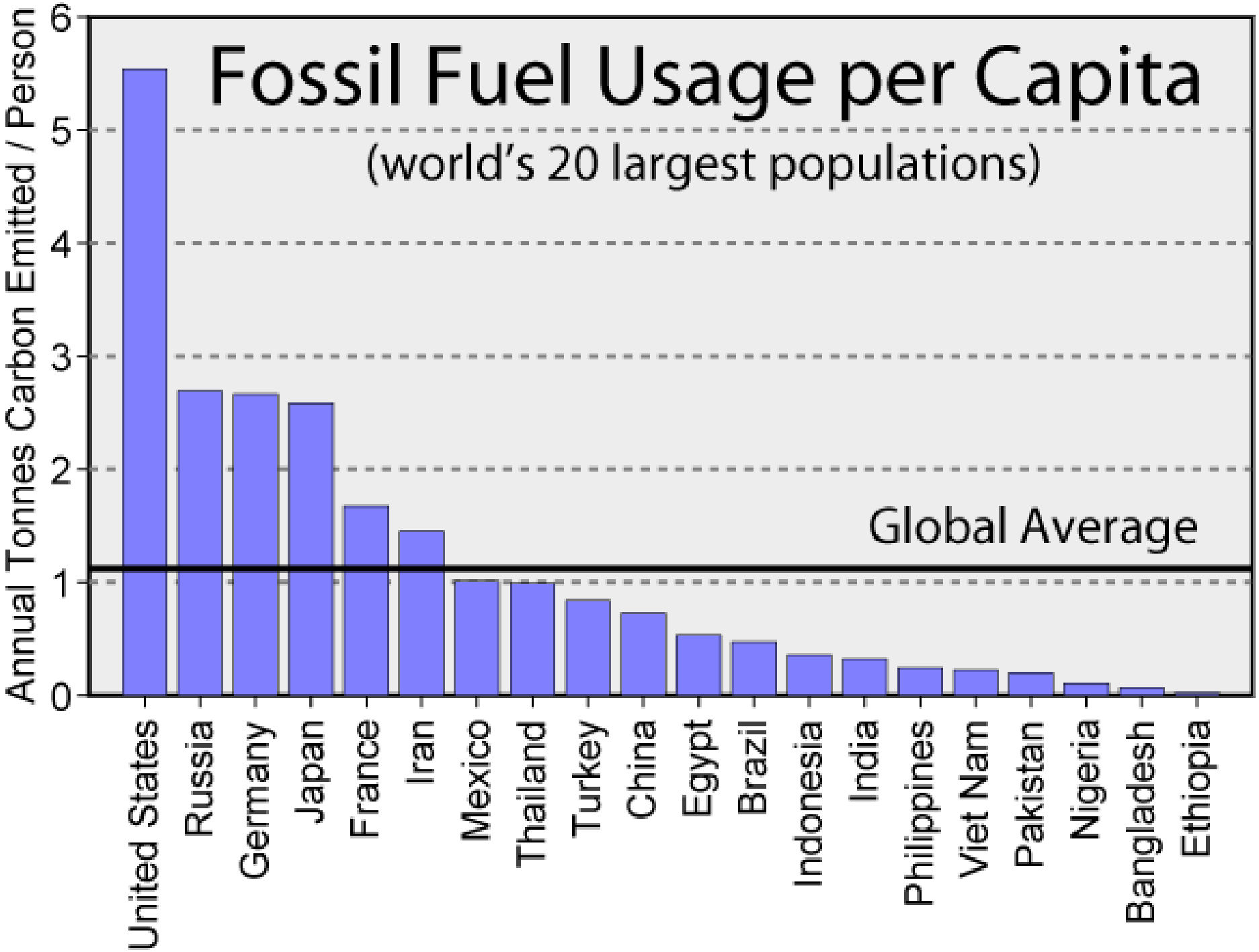

Global Temperatures
Annual Average
Five Year Average
Temperature Anomaly (°C)
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
1860
1880
1900
1920
1940
1960
1980
2000

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

Global Warming




Economic Efficiency of Fossil Fuel Usage
(world's 20 largest economies)
GDP Dollars / kg Carbon Emitted
20
16
12
8
4
0
Global Average
Brazil
France
Italy
UK
Spain
Japan
Germany
India
Indonesia
Mexico
Taiwan
Turkey
Thailand
China
South Korea
United States
Canada
Australia
Iran
Russia


Fossil Fuel Usage per Capita
(world's 20 largest populations)
Global Average
Annual Tonnes Carbon Emitted / Person
0
1
2
3
4
5
6
United States
Russia
Germany
Japan
France
Iran
Mexico
Thailand
Turkey
China
Egypt
Brazil
Indonesia
India
Philippines
Viet Nam
Pakistan
Nigeria
Bangladesh
Ethiopia

İklim değişimlerinin bitki büyümesine etkileri

Sıcaklıklar yükseliyor ==> verim potansiyeli düşüyor

Neden?

- ⇒ **Bitkiler verim oluşturmada kullandıkları enerjinin çoğunu solunum için kullanıyor**
- ⇒ **Yüksek sıcaklıklarda olgunlaşma süreci hızlanıyor, verim oluşturmada geçen zaman azalıyor**
- ⇒ **yüksek sıcaklıklar normal fizyolojik olayları sekteye uğratıyor**

sonuç:

- **30°C - 40°C arasında her 1°C sıcaklık artışı ≅ 10% verim azalmasına neden oluyor**

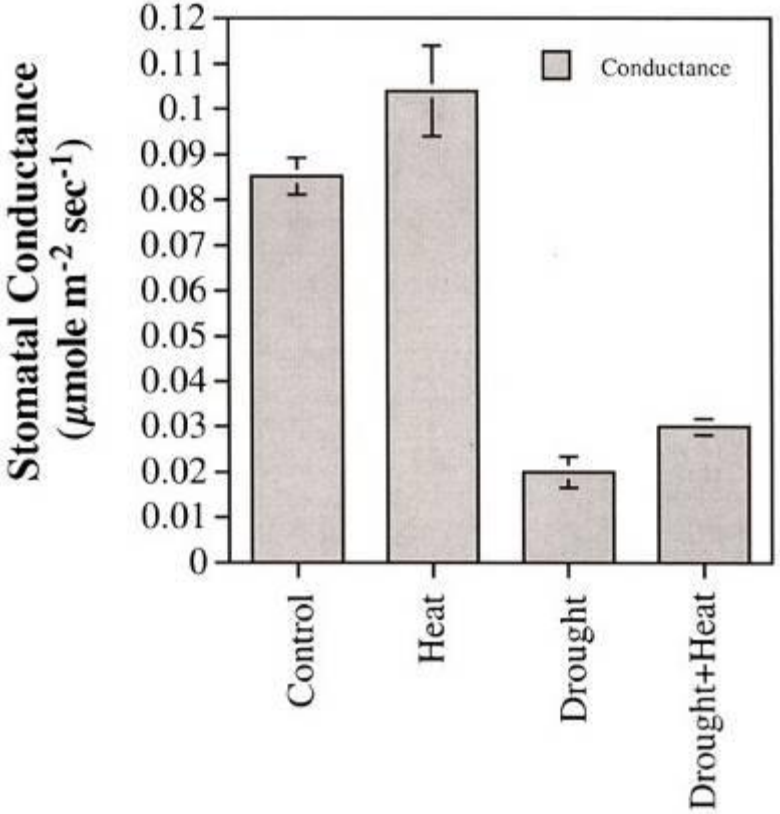
Sıcaklıklar yükseliyor => aynı verimi oluşturmak için daha fazla su gereksinimi doğuyor

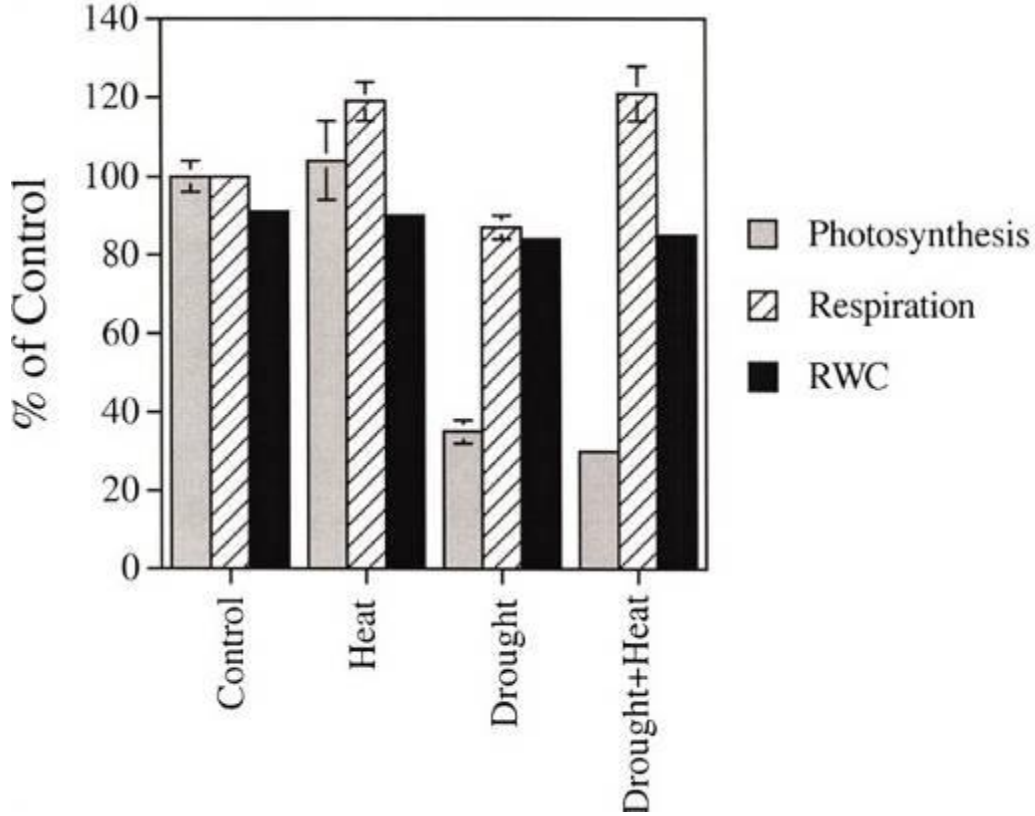
Neden?

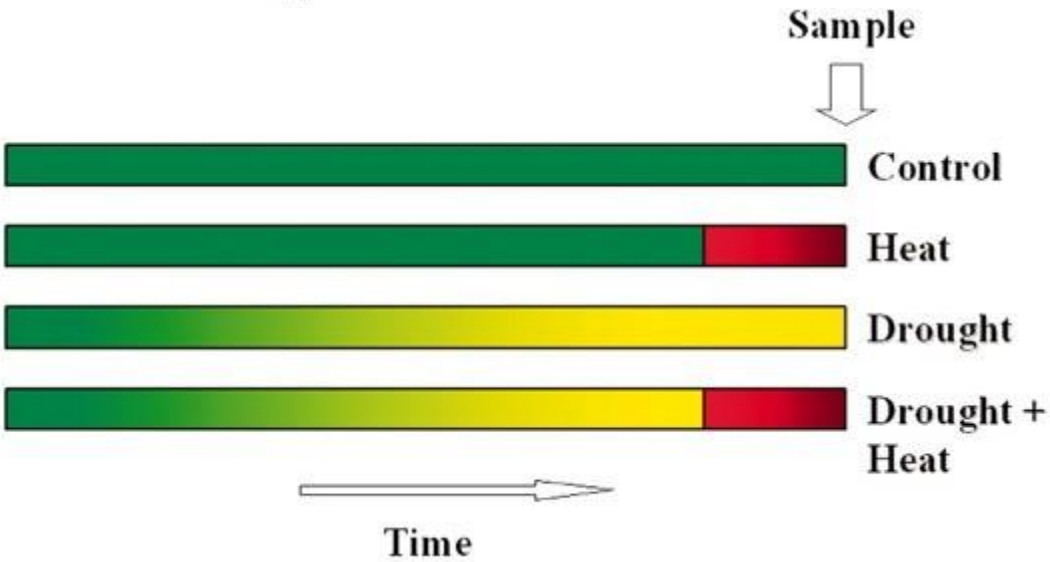
- ⇒ **sıcaklık yükselmelerinde nispi nem azalıyor**
- ⇒ **bitkiler atmosferik nemin düşük olduğu koşullarda daha fazla su kaybediyor**

Yağışlar düzensizleşiyor:

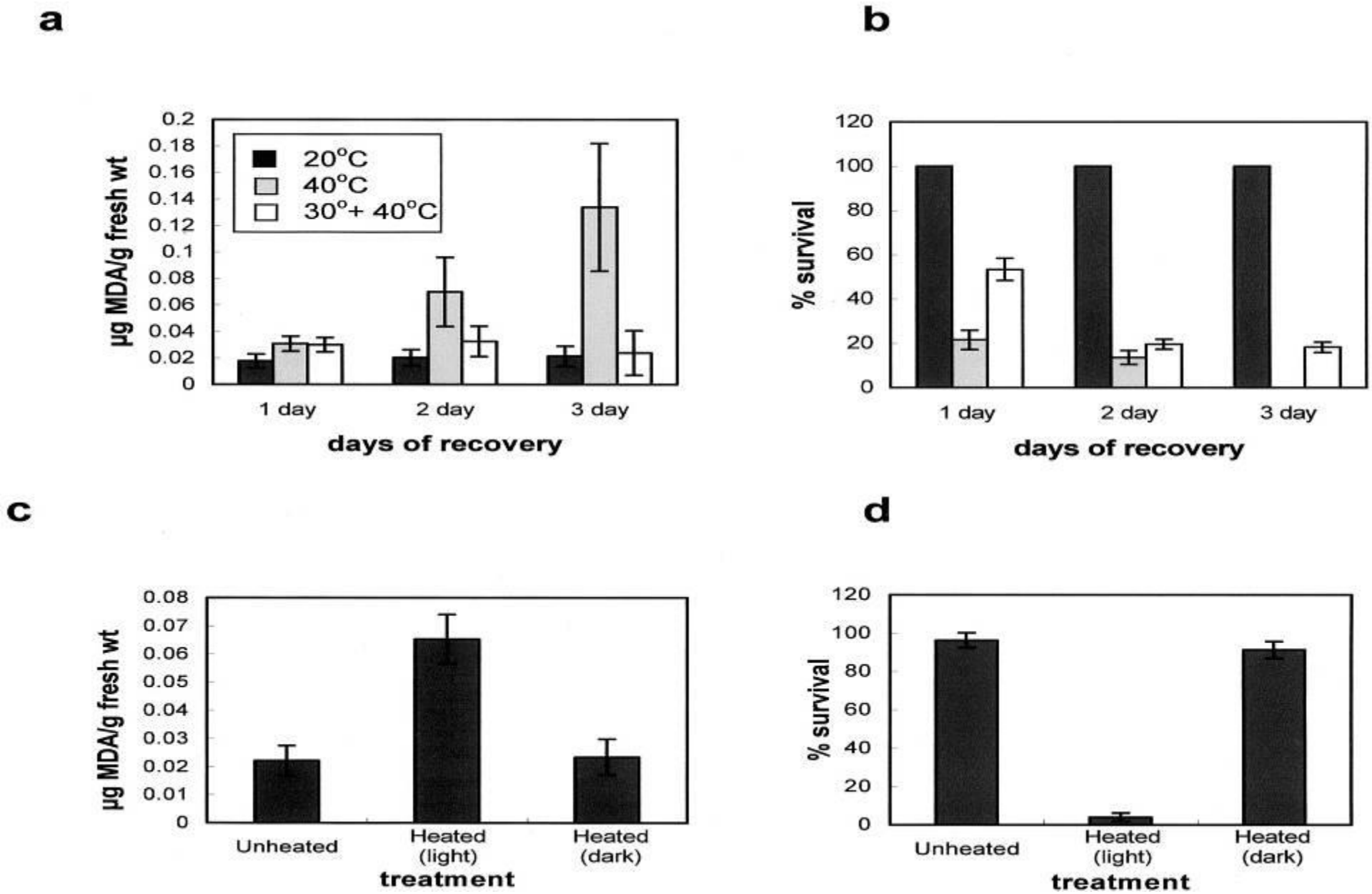
- ⇒ tahmin edilemeyen kuraklıkların görülme sıklığı artıyor
- ⇒ su baskınlarının sıklığı artıyor


Stomatal Conductance
(μmole m-2 sec-1)
0.12
0.11
0.1
0.09
0.08
0.07
0.06
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0
Conductance
Control
Heat
Drought
Drought+Heat


% of Control
140
120
100
80
60
40
20
0
Control
Heat
Drought
Drought+Heat
Photosynthesis
Respiration
RWC


Sample
Control
Heat
Drought
Drought +
Heat
Time

Arabidopsiste 1 saat yüksek sıcaklık (40°C) uygulaması sonucu...



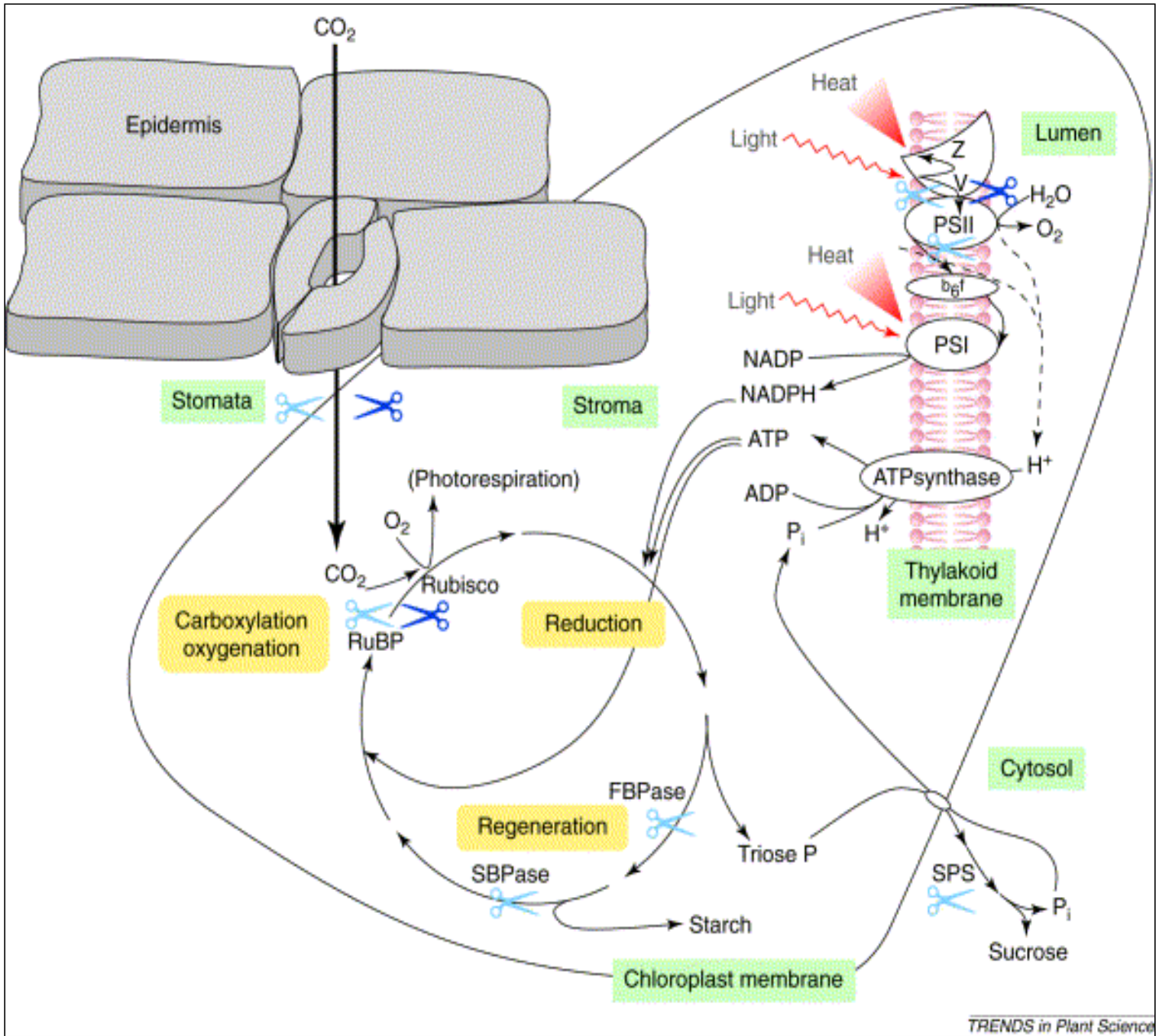
Larkindale & Knight , 2002. Plant Physiol, February 2002, Vol. 128, pp. 682-695

Düşük Sıcaklık Stresi

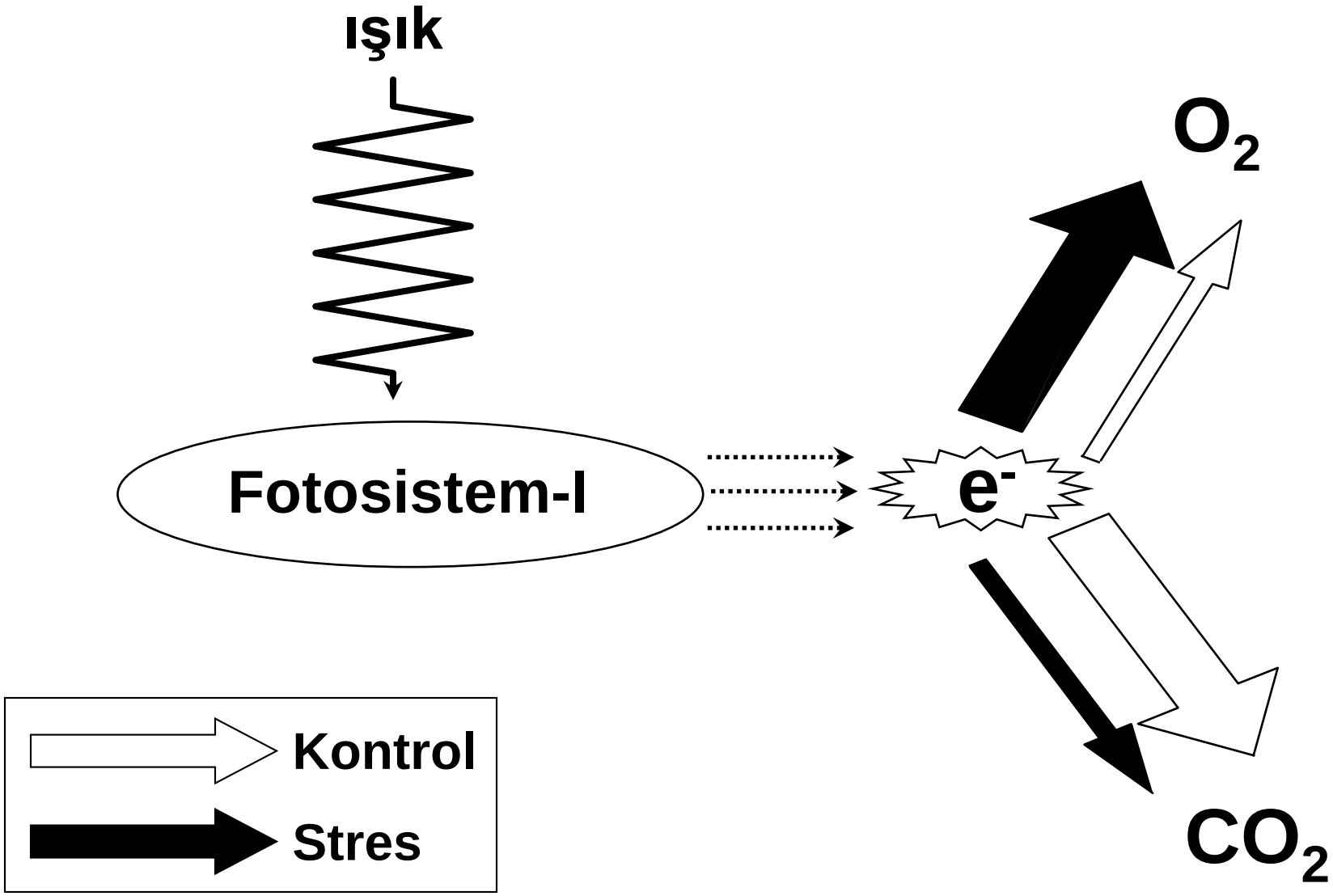
Düşük sıcaklık stresinde...

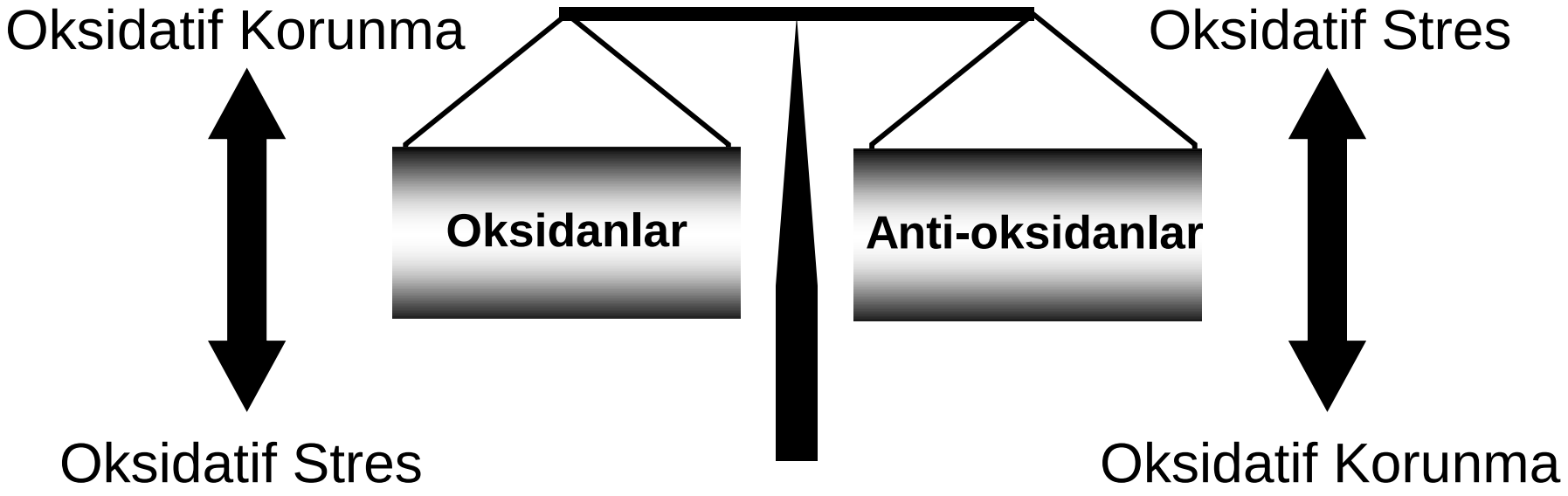
- Fotosentezin en önemli aşamaları sekteye uğrar: stomatal geçirgenliğin bozulması, fotofosforilasyon, tilakoidlerde elektron taşınımı, karbon indirgenme döngüsü, karbonhidrat taşınımı
- Stomatal geçirgenlik direk soğuk etkisi ile veya Rubisco aktivitesinin inhibasyonu sonucu lümende artan CO_2 konsantrasyonu sonucunda bozulabilir
- Biyolojik membranlar lipid moleküllerinin oksidasyonu sonucu parçalanır, hücresel organizasyon bozulur, iyonlar apoplasta kaçar
- Düşük sıcaklığın etkileri ışıklı ve karanlık koşullarda çok farklı etkilerle ortaya çıkar

Ekstrem Sıcaklıklardan Etkilenen Biyosentetik Yollar



Stres Koşullarında O_2 Aktivasyonu





Oksidanlar

Süperoksit radikali, Singlet oksijen, Hidrojen peroksit, Hidroksil radikali, Nitrik oksitler

Hedefleri: Hücresel membranlar, DNA, Klorofil, Protein

Sonuçları: Membran tahribatı, Mütasyonlar, Kloroz/nekroz, Protein parçalanması

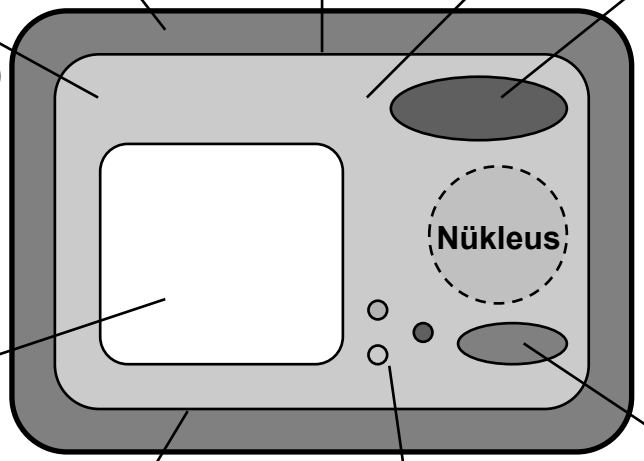
Anti-oksidanlar

Metabolitler: α-Tokoferol, Karotenoidler, Glutatyon, Askorbat, Antosiyanin

Enzimler: Superoksit dismutaz, Askorbat peroksidaz, Glutatyon redüktaz, Monodehidroaskorbat redüktaz, Dehidroaskorbat redüktaz, Guajakol peroksidaz

Bitki hücresinde Koruyucu Enzim ve Antioksidanların Lokalizasyonu

(Polle and Junkermann, 1994).



Plazma membranı

Simplast

Sitozol

Glutatyon
Askorbat
Superoksit dismutaz (SOD)
Askorbat peroksidaz (AP)
Glutatyon redüktaz (GR)
Monodehidroaskorbat redüktaz (MDAR)
Dehidroaskorbat redüktaz (DHR)
Guajakol peroksidaz (GP)

Apoplast

Kloroplast

α-Tokoferol
Karotenoidler
Glutatyon
Askorbat
Superoksit dismutaz
Askorbat peroksidaz
Glutatyon redüktaz
Monodehidroaskorbat redüktaz
Dehidroaskorbat redüktaz

Vakuol

Glutatyon (?)
Askorbat
Guajakol peroksidaz (GP)

Hücre duvarı

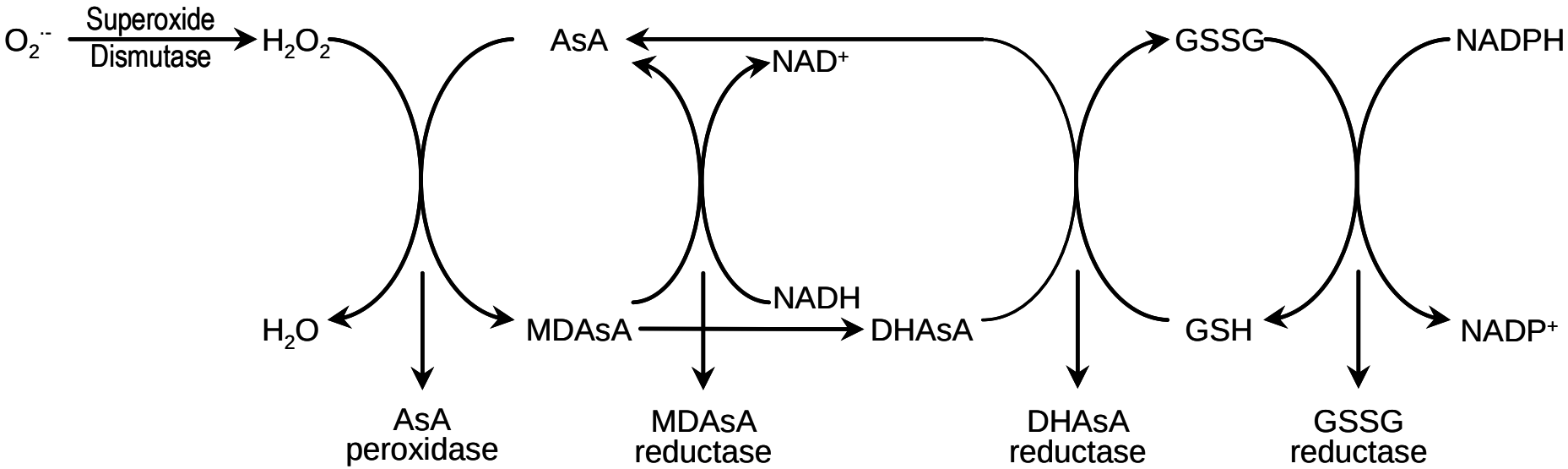
Askorbat
Guajakol peroksidaz

Peroksizom

Superoksit dismutaz
Katalaz

Mitokondri

Superoksit dismutaz
Glutatyon
Glutatyon redüktaz
Katalaz
Monodehidroaskorbat redüktaz


$O_2^{\cdot-}$
Superoxide
Dismutase
H_2O_2
AsA
NAD^+
GSSG
NADPH
H_2O
MDAsA
NADH
DHAsA
GSH
$NADP^+$
AsA
peroxidase
MDAsA
reductase
DHAsA
reductase
GSSG
reductase

Literatürde domateste tarama amaçlı kullanılan farklı test sıcaklıkları

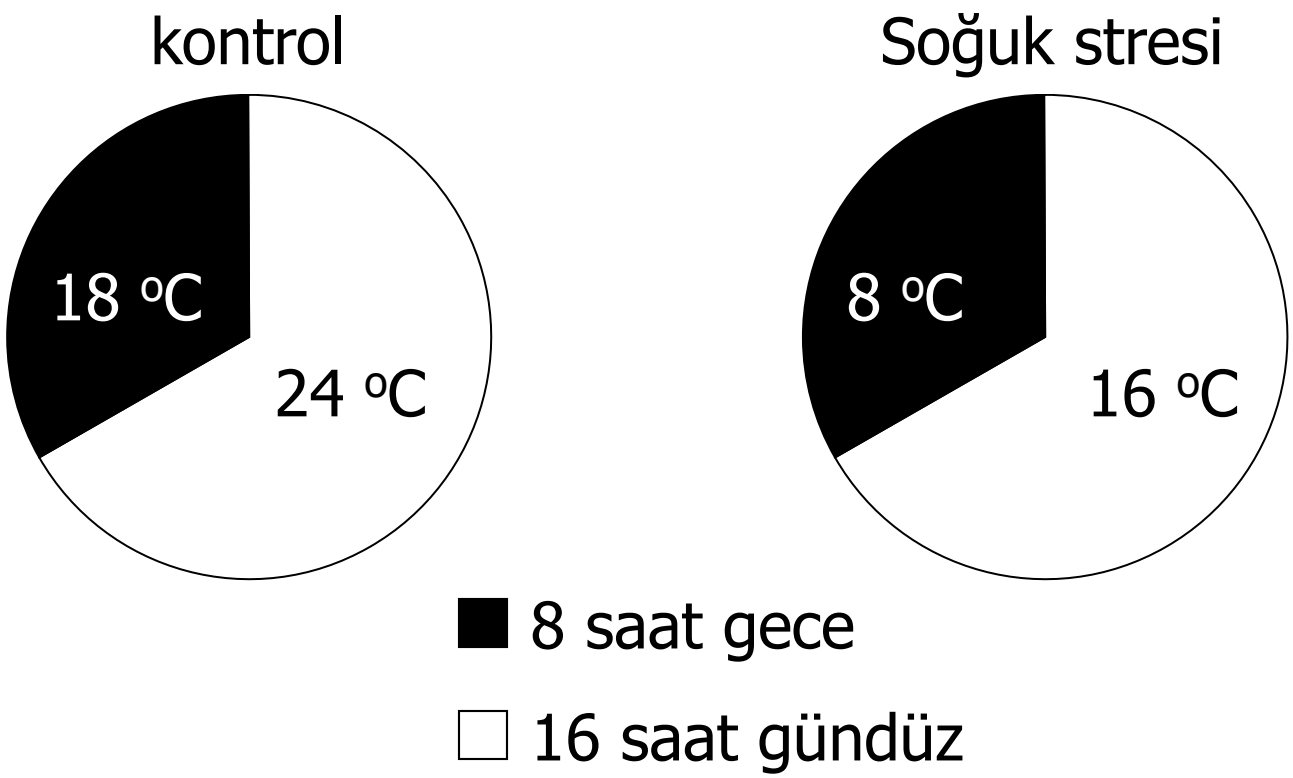
- Foolad ve Lin (2000 ve 2001): vegetatif dönemde **10/15°C ve 5/12°C**, soğuk tolerans indeksini kuru madde üretimi ile belirlemiştir. Bu çalışmalarda ayrıca, domateste soğuk tolerasının kalıtsal ve genetik geçişli olabileceği gösterilmiştir.

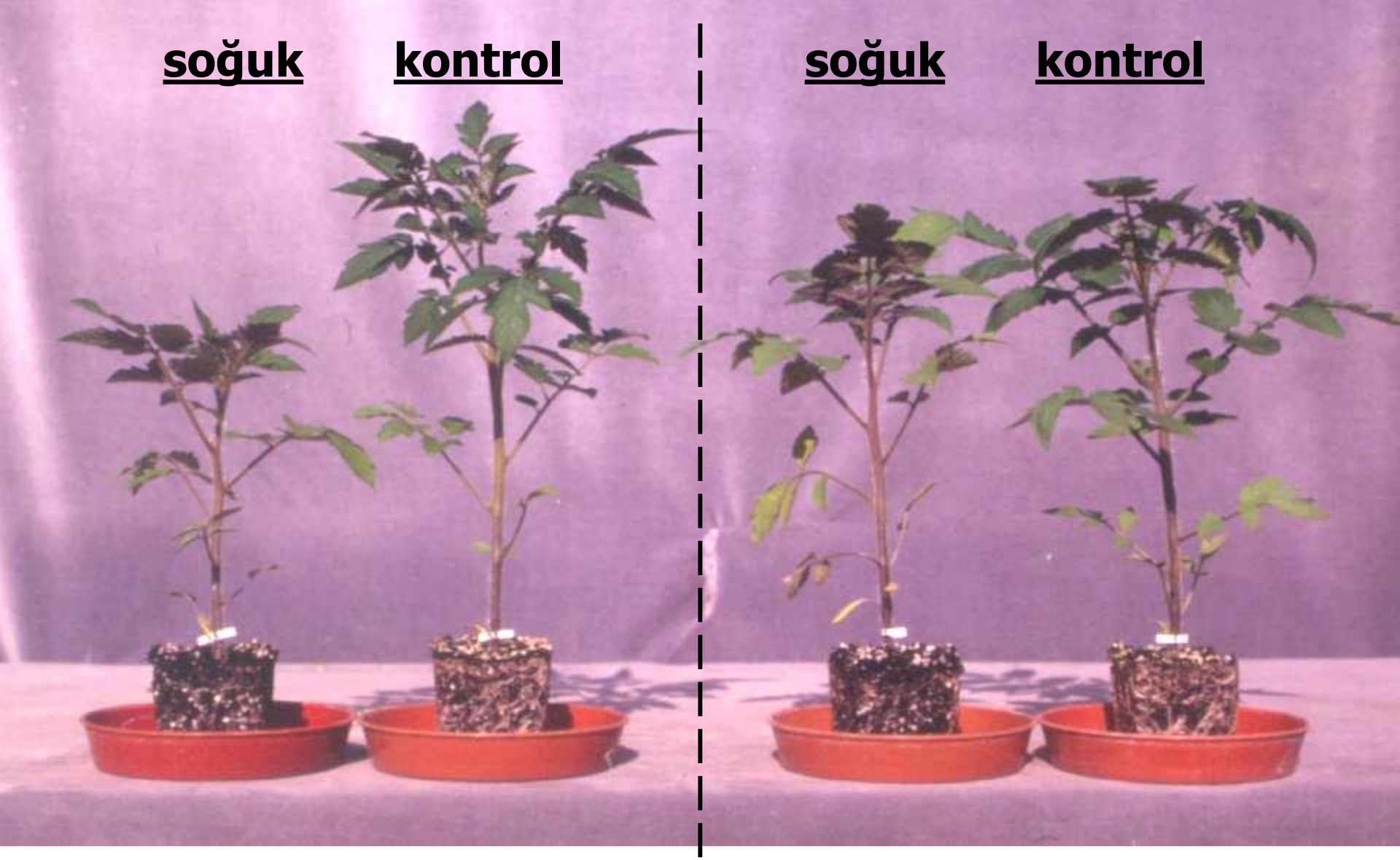
- Venema ve ark. (2000): **14/16°C**, fotosentetik etkinlik bakımından araştırmışlardır.

- Walker ve ark. (1991): 3 gün **2°C** tilakoid membranlarda biyokimyasal ve fonksiyonel özelliklerin düşük sıcaklıktaki değişimi incelenmiştir

- Çalışmaların tamamında domates genotiplerinin düşük sıcaklık toleransında varyasyon olduğu bildirilmiştir

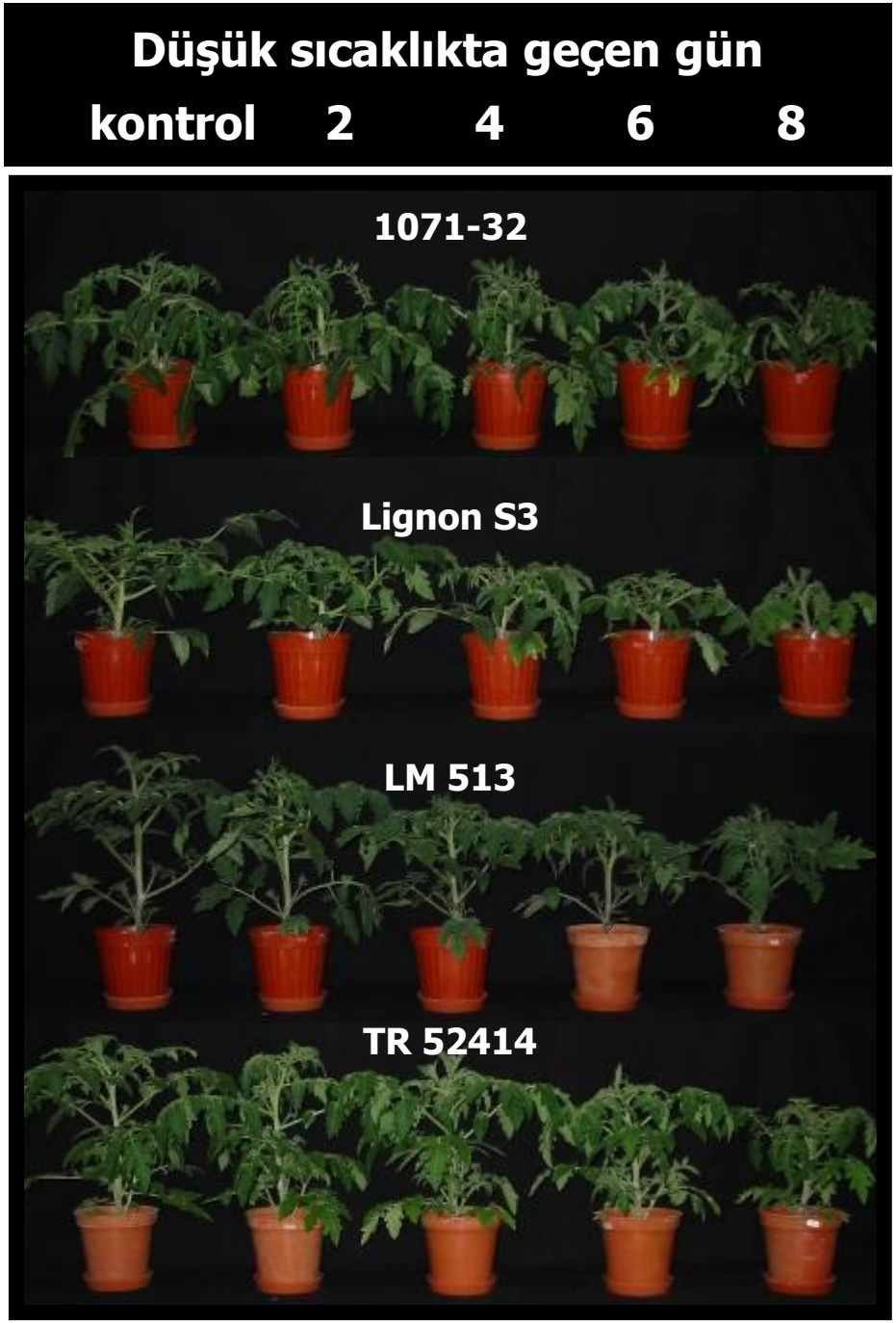
Tarama denemelerinde uygulanan sıcaklık rejimi



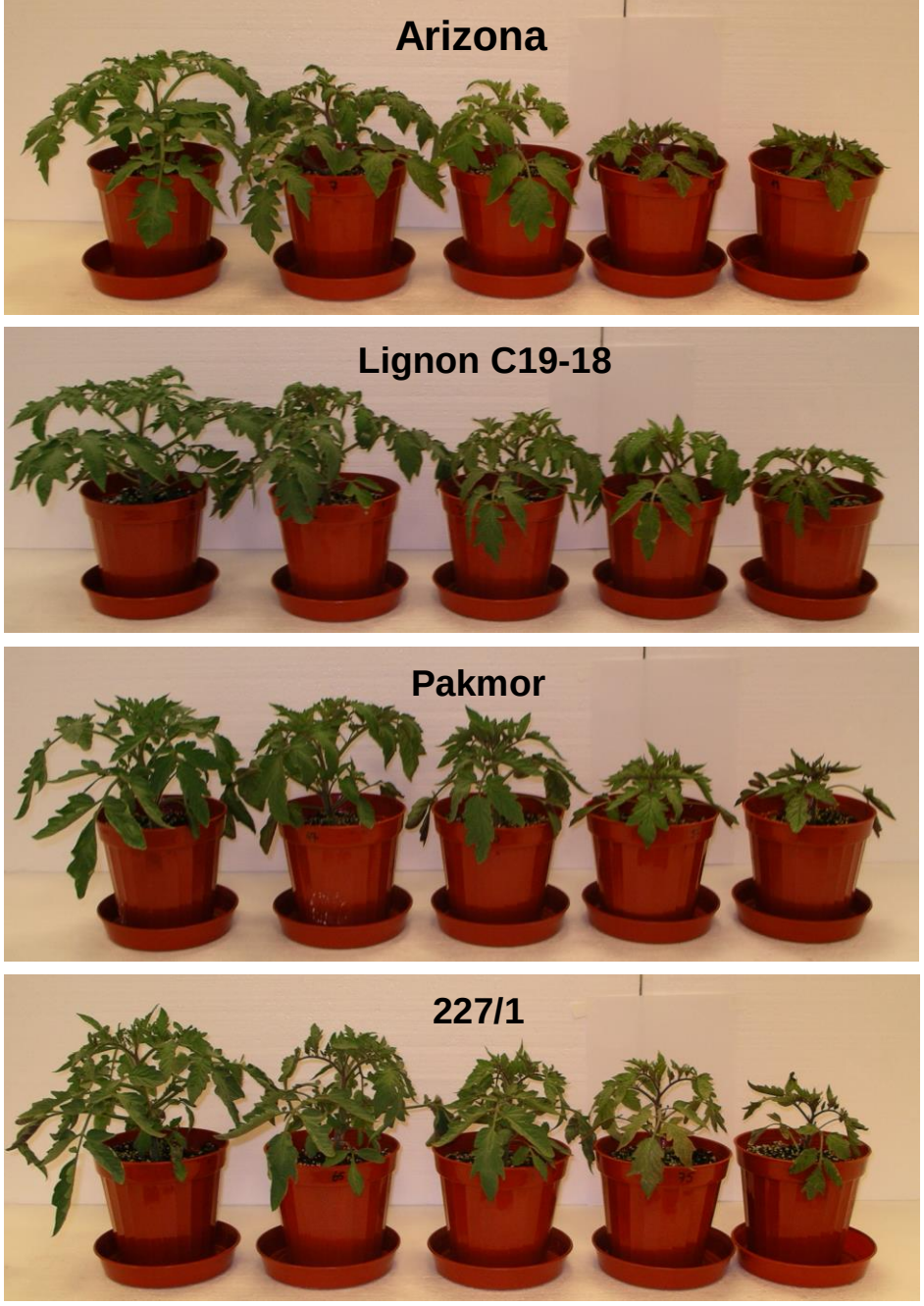


TR 52361
Tolerans: 67 %

TR 47820
Tolerans : 80 %

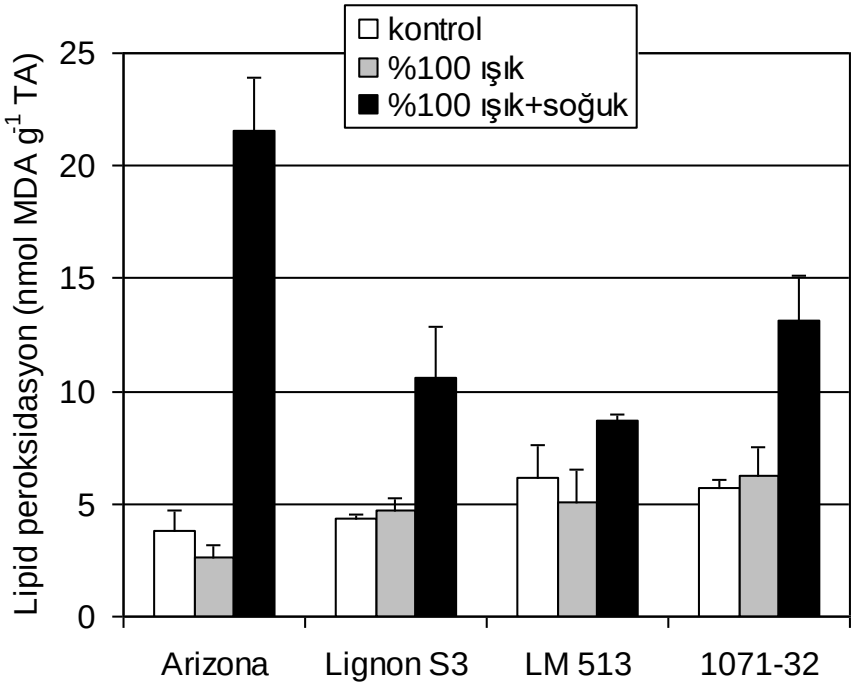


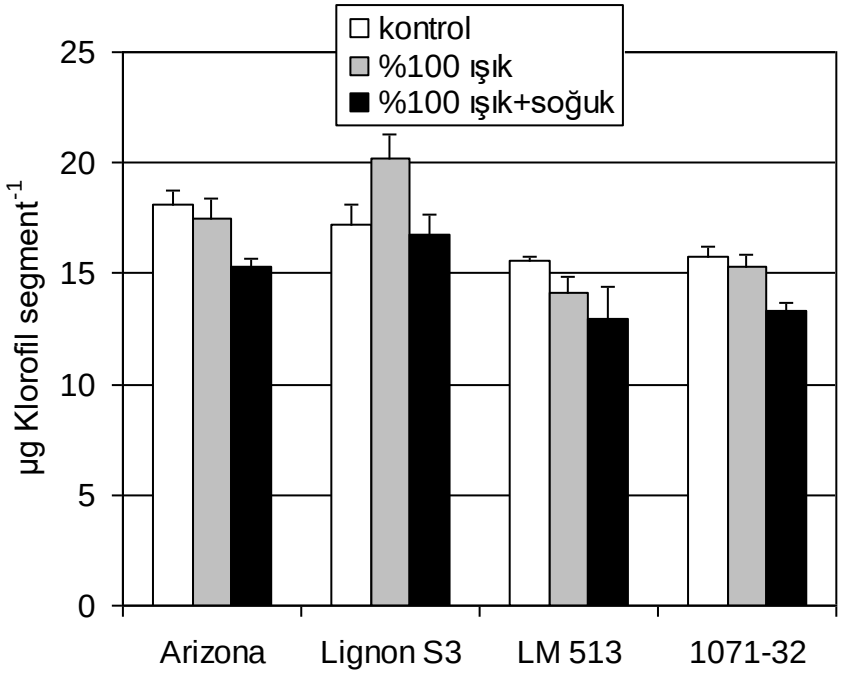
35 günlük domates genotiplerinde 8/16oC düşük sıcaklık uygulamasının zamana bağlı etkisi

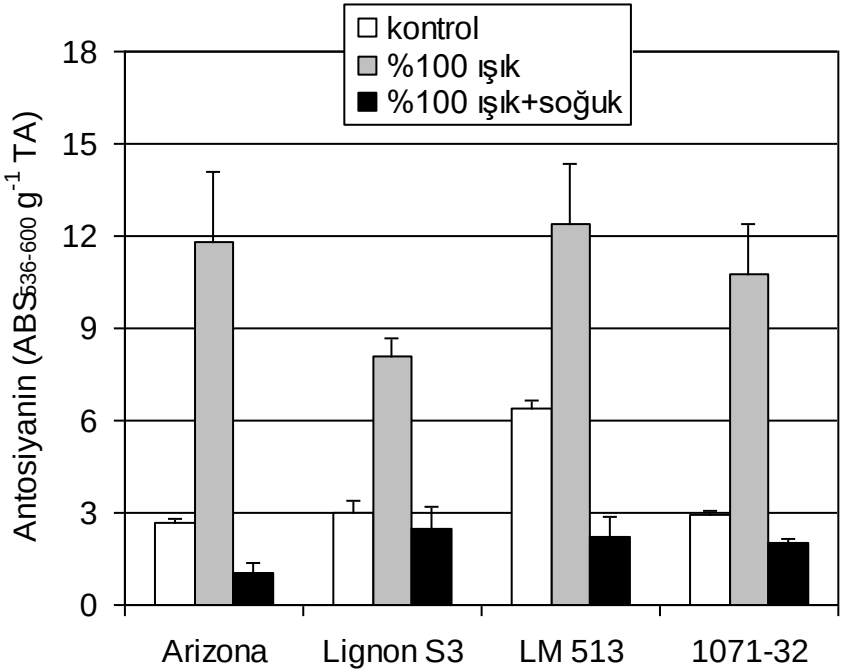


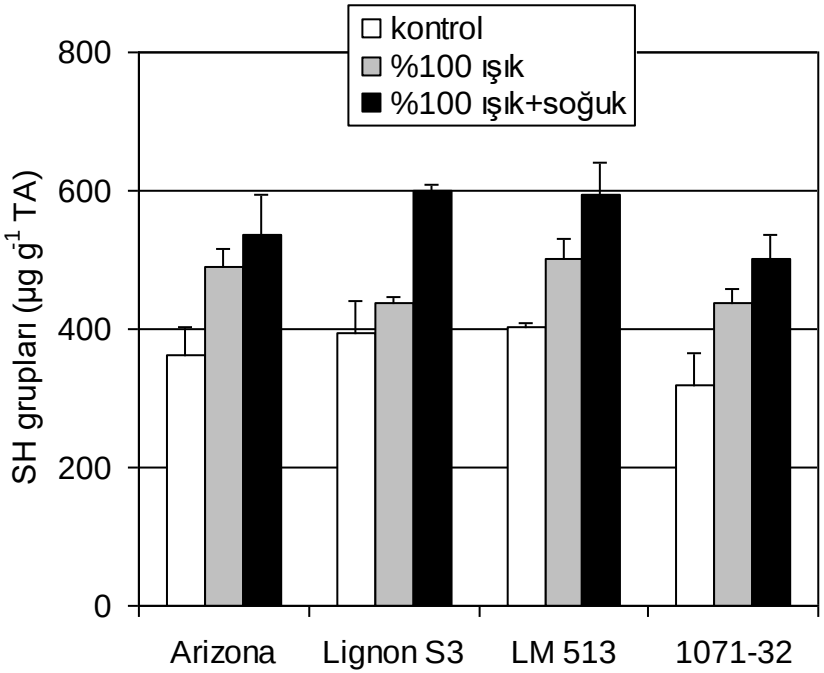
0 gün (kontrol)	2 gün	4 gün	6 gün	8 gün

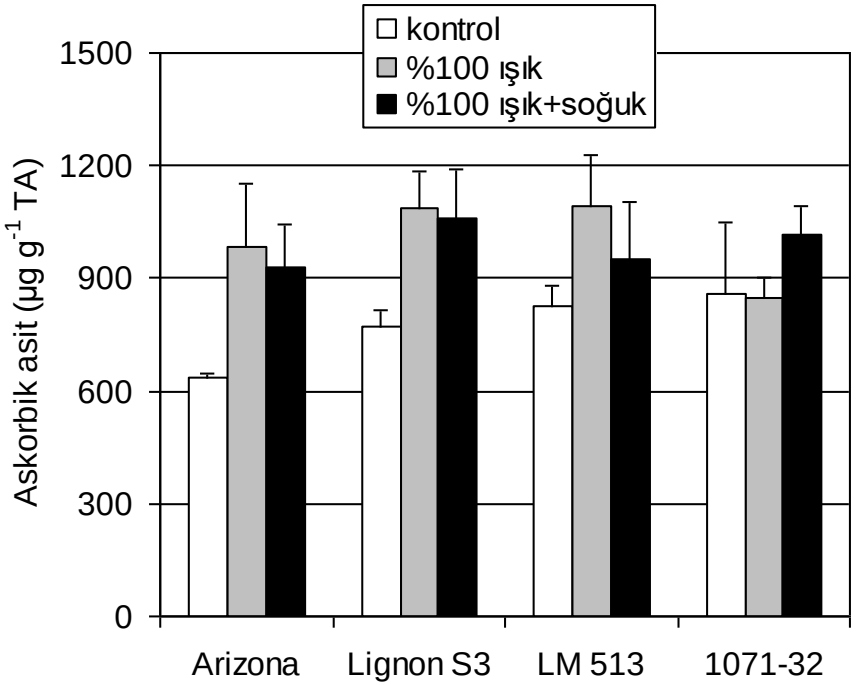
Aynı yaştaki (28 gün) domates genotiplerine 0, 2, 4, 6 ve 8 gün yüksek ışık intensitesi ve düşük sıcaklık stresi (4/8°C, 8 saat gece/16 saat gündüz, 700 µmol $m^{-2}s^{-1}$ ışık yoğunluğu) uygulaması sonucu yeşil aksamda biyomas kaybı

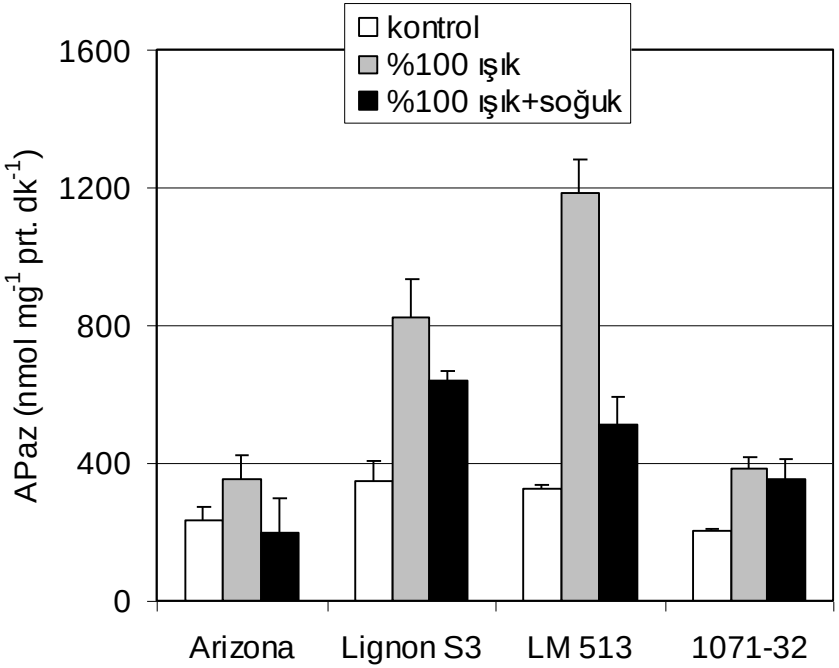

kontrol
%100 ışık
%100 ışık+soğuk
Lipid peroksidasyon (nmol MDA g-1 TA)
0
5
10
15
20
25
Arizona
Lignon S3
LM 513
1071-32

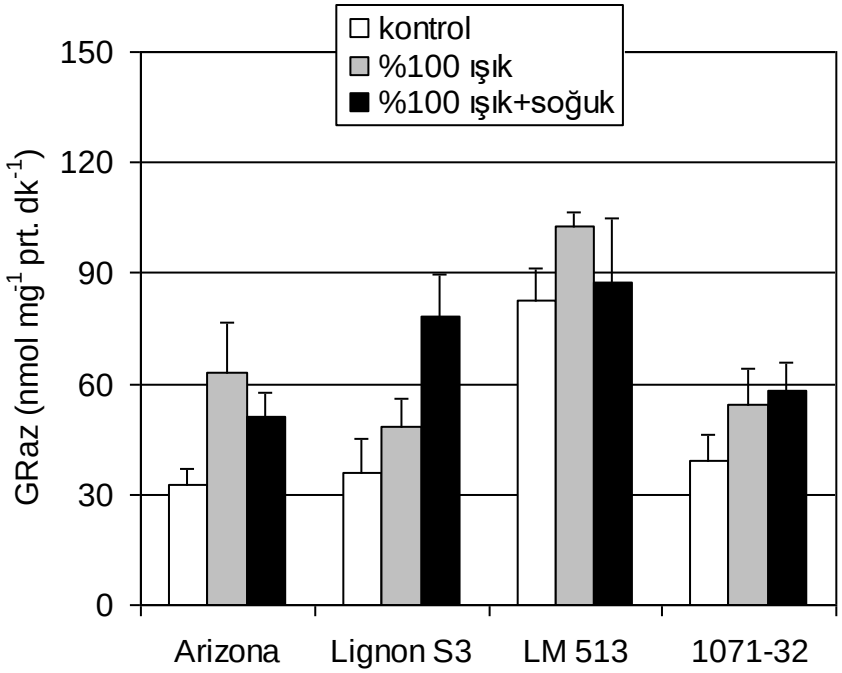

kontrol
%100 ışık
%100 ışık+soğuk
µg Klorofil segment-1
0
5
10
15
20
25
Arizona
Lignon S3
LM 513
1071-32

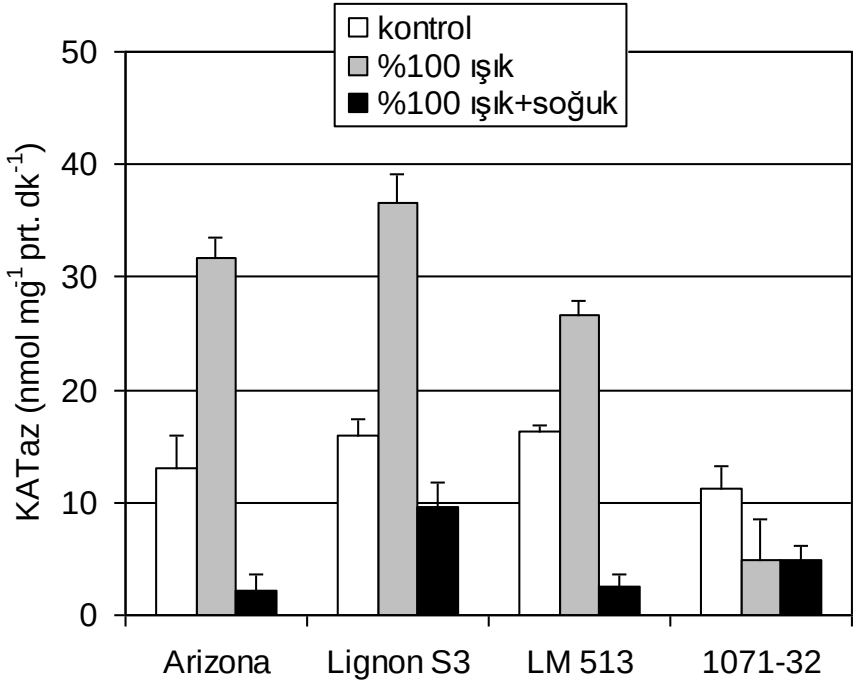

kontrol
%100 ışık
%100 ışık+soğuk
Antosiyanin (ABS536-600 g-1 TA)
0
3
6
9
12
15
18
Arizona
Lignon S3
LM 513
1071-32

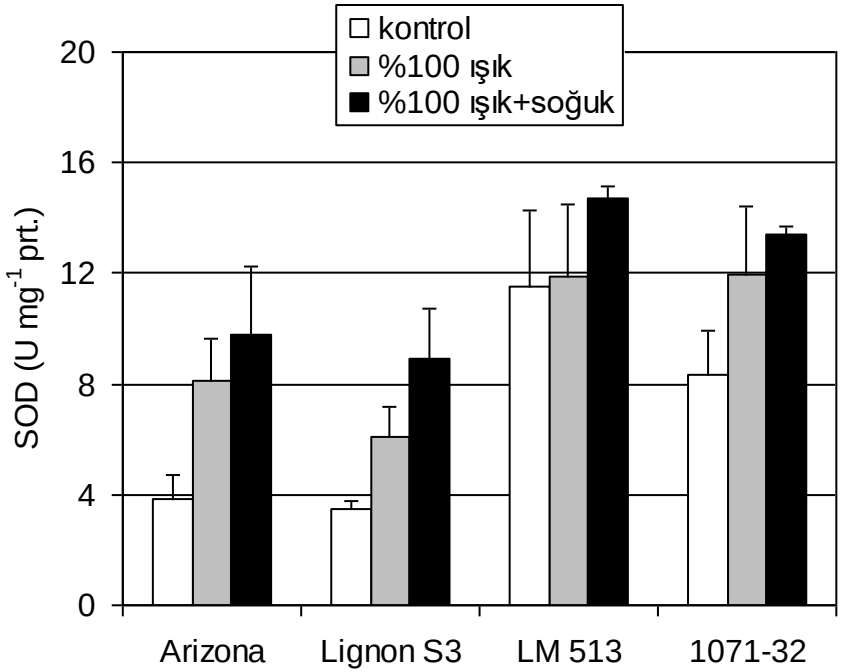

kontrol
%100 ışık
%100 ışık+soğuk
SH grupları (µg g-1 TA)
800
600
400
200
0
Arizona
Lignon S3
LM 513
1071-32


kontrol
%100 ışık
%100 ışık+soğuk
Askorbik asit (µg g-1 TA)
1500
1200
900
600
300
0
Arizona
Lignon S3
LM 513
1071-32


kontrol
%100 ışık
%100 ışık+soğuk
APaz (nmol mg-1 prt. dk-1)
1600
1200
800
400
0
Arizona
Lignon S3
LM 513
1071-32

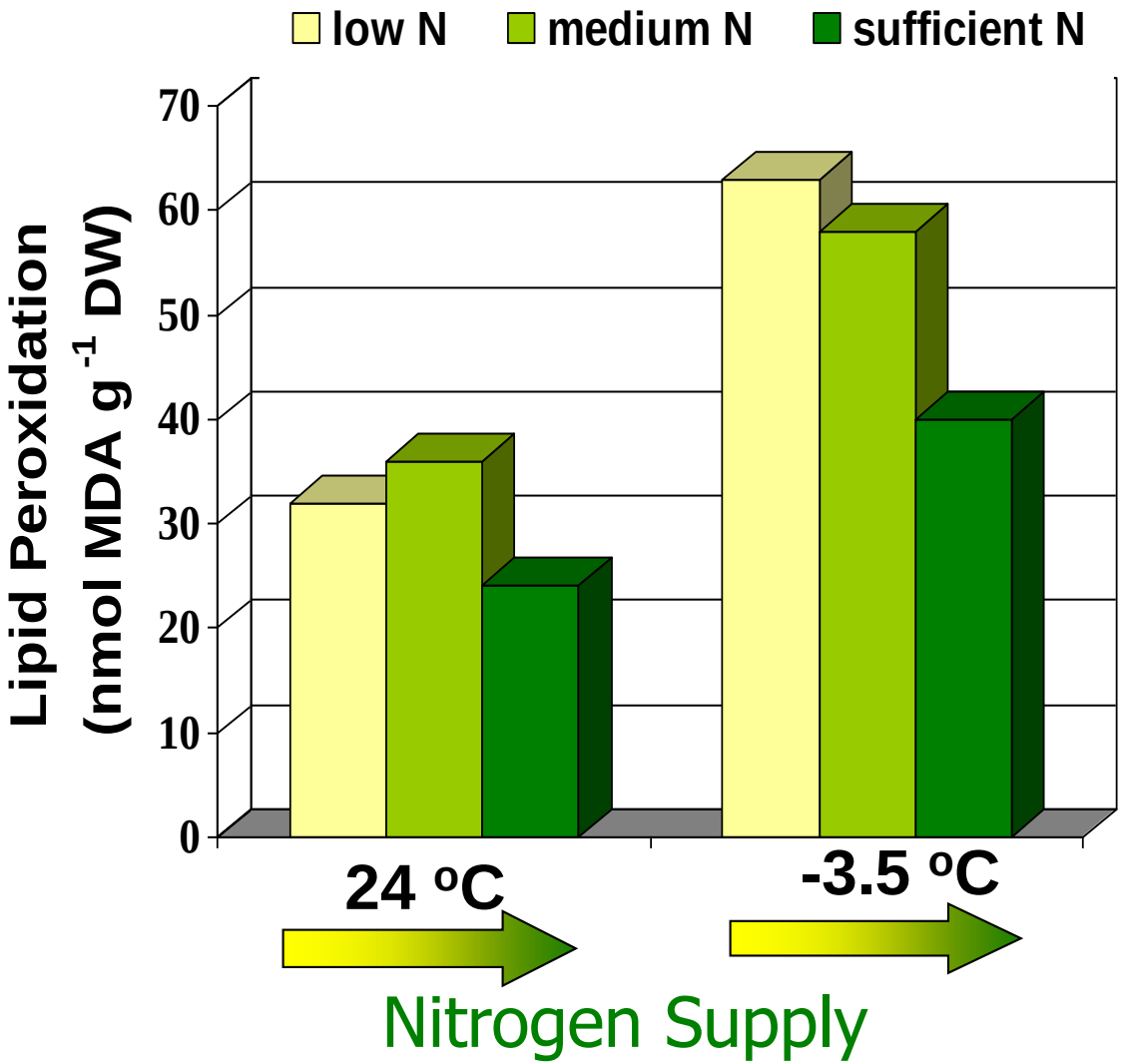

kontrol
%100 ışık
%100 ışık+soğuk
GRaz (nmol mg-1 prt. dk-1)
150
120
90
60
30
0
Arizona
Lignon S3
LM 513
1071-32


kontrol
%100 ışık
%100 ışık+soğuk
KATaz (nmol mg-1 prt. dk-1)
50
40
30
20
10
0
Arizona
Lignon S3
LM 513
1071-32

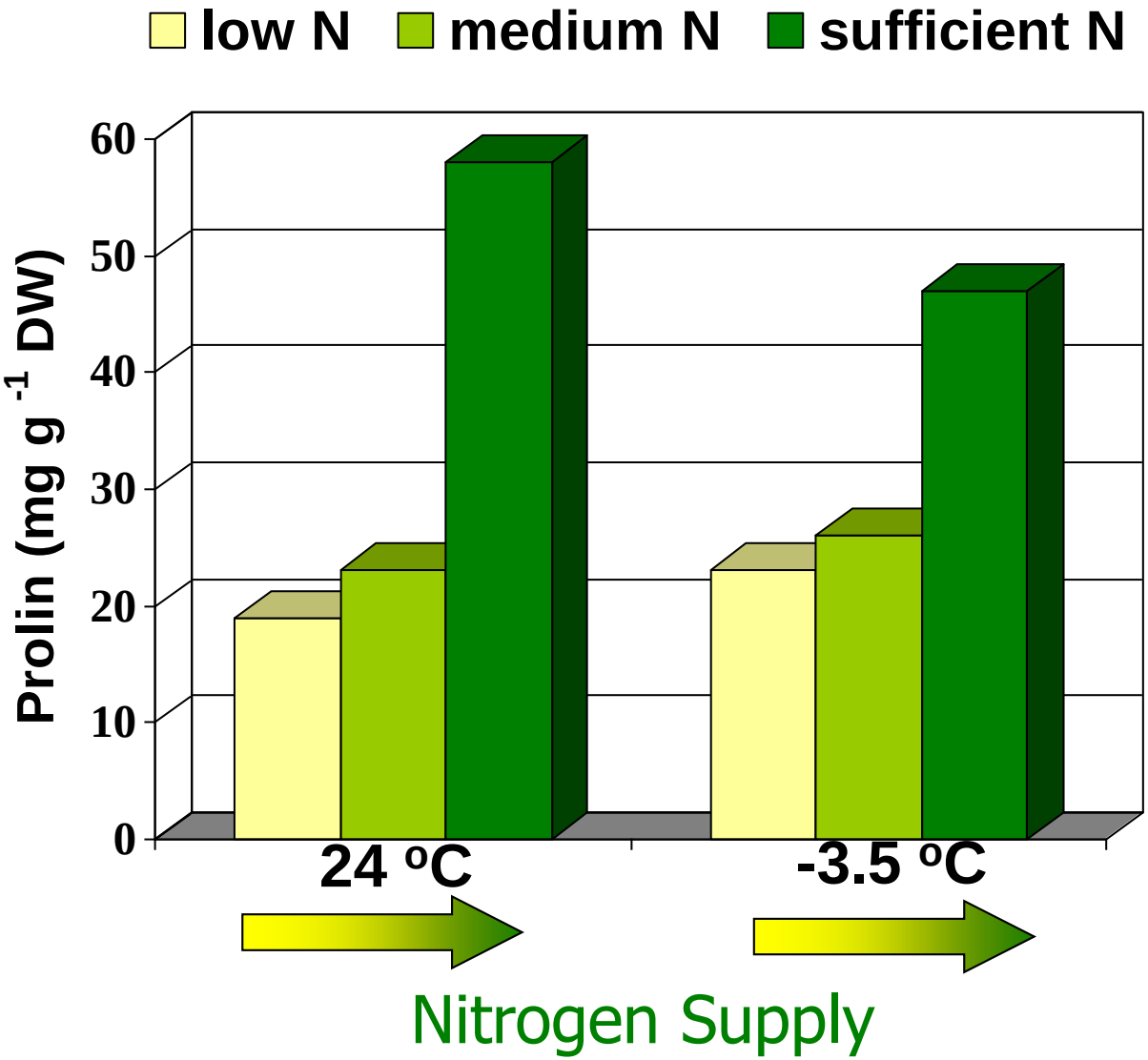

kontrol
%100 ışık
%100 ışık+soğuk
SOD (U mg-1 prt.)
20
16
12
8
4
0
Arizona
Lignon S3
LM 513
1071-32

Mineral Beslenme Stresi

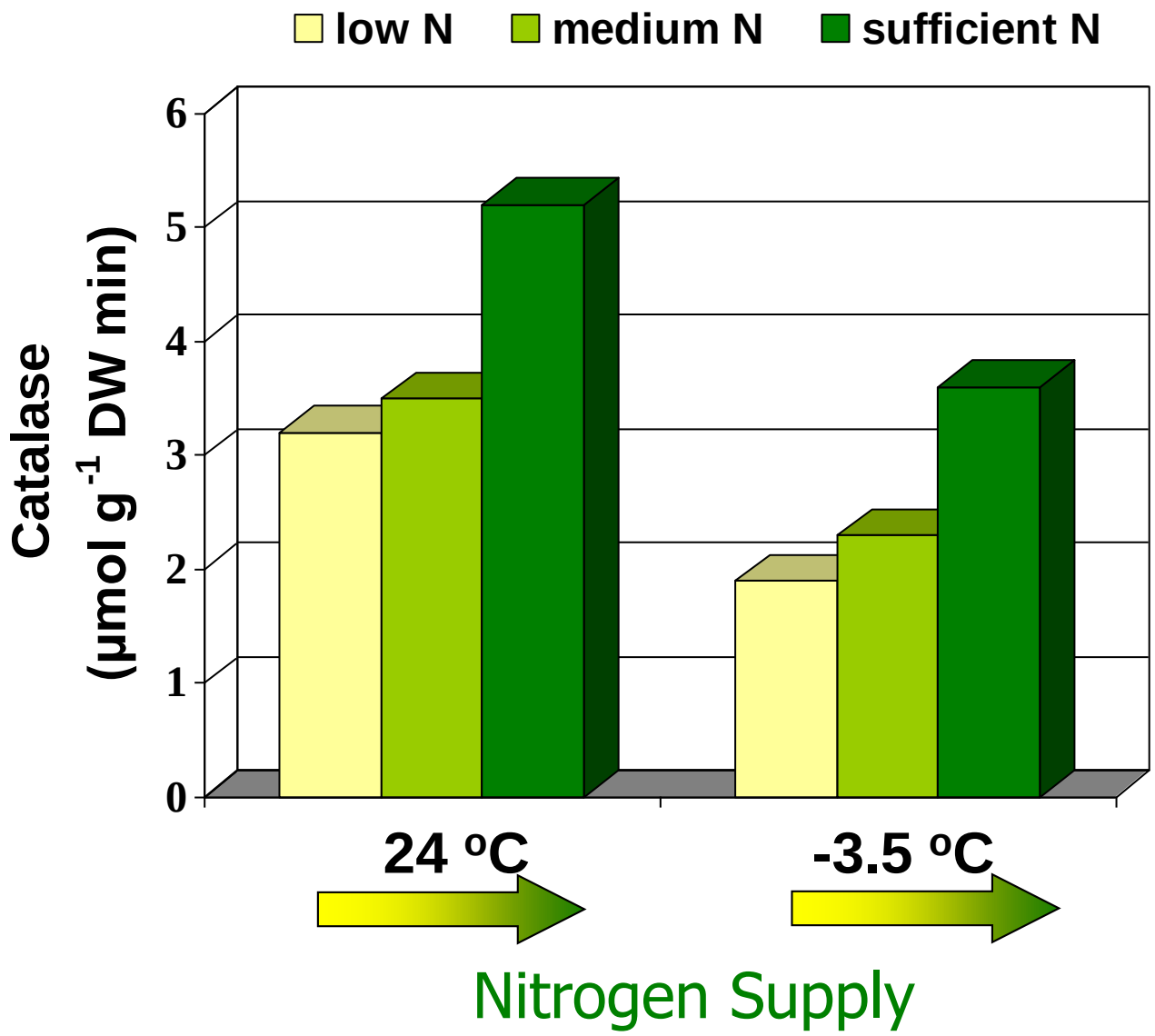
Effect of Increasing Nitrogen Supply on Lipid Peroxidation at Normal and Low Temperature in Lemon



Effect of Increasing Nitrogen Supply on Prolin Concentration at Normal and Low Temperature in Lemon



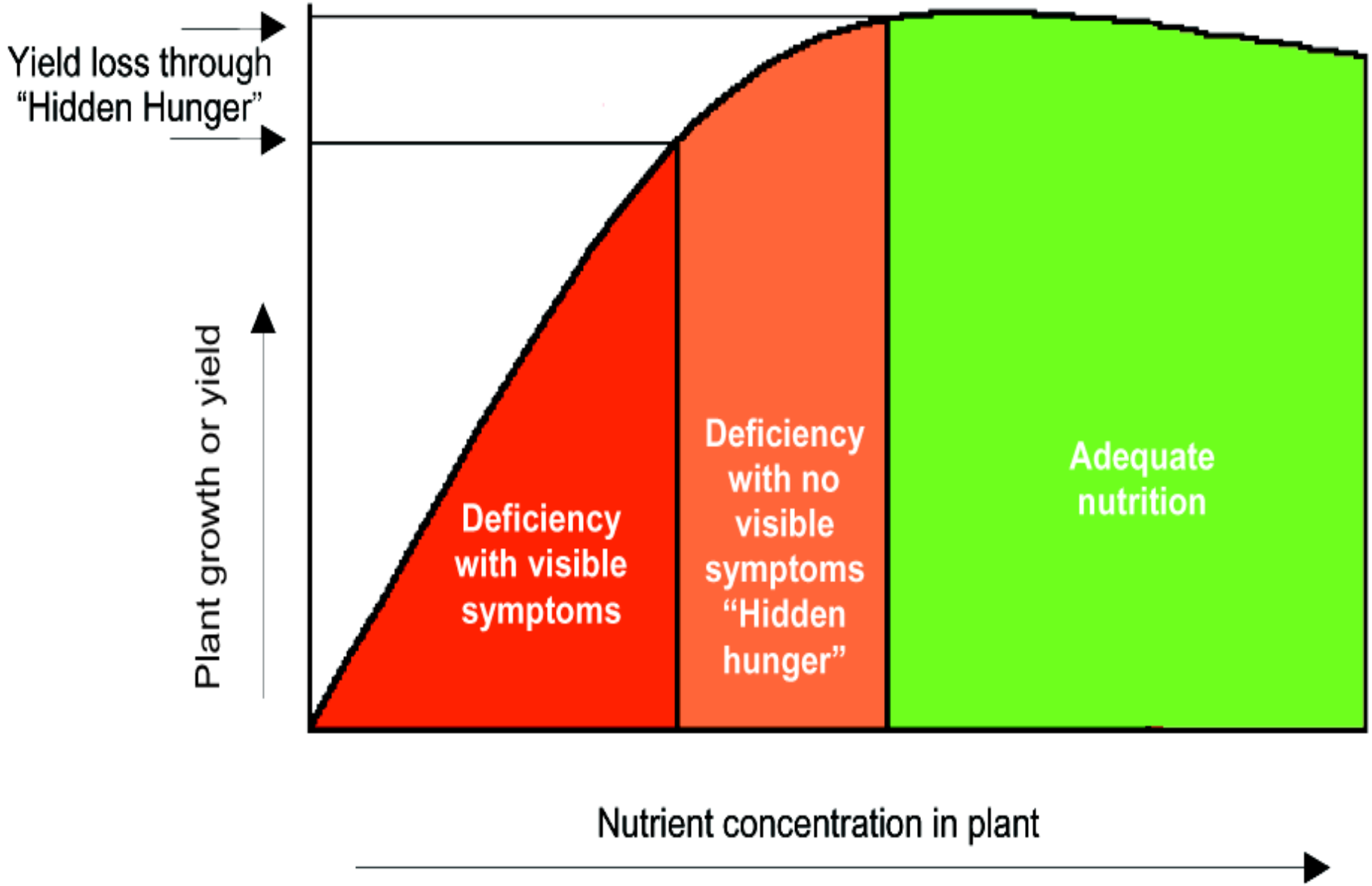
Effect of Increasing Nitrogen Supply on Catalase at Normal and Low Temperature in Lemon



Temel besin ihtiyacının uygulanan oranı (%)

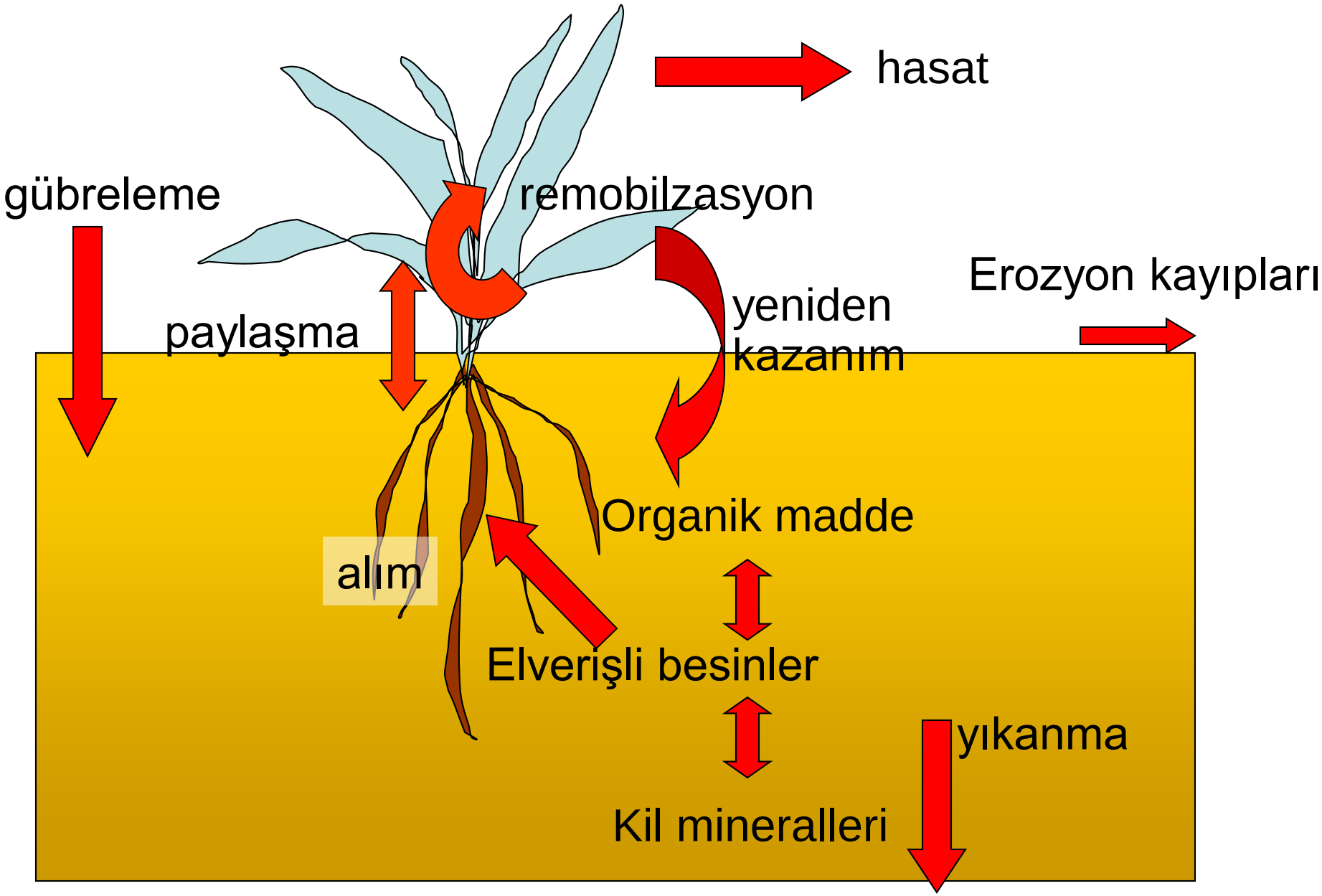
0 25 50 100

GİZLİ AÇLIK (hidden hunger)



MİNERAL BESLENMEYE ETKİ YAPAN ÇEVRESEL FAKTÖRLER

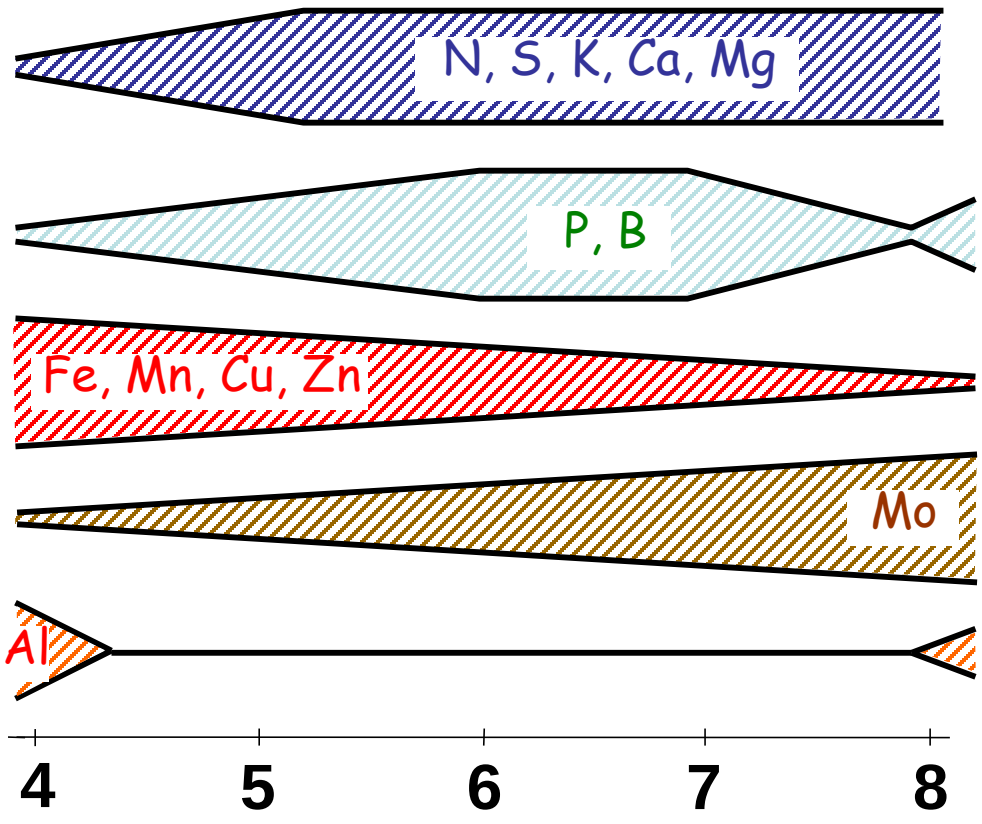
- Mineral kompozisyonu
- organik madde miktarı
- pH
- Nem içeriği
- sıcaklık
- Strüktür ve Tekstür
- Mikrobiyal aktivite
- mikoriza
- Transpirasyon ihtiyacı
- herbisitler
- Işık intensitesi


hasat
gübreleme
remobilzasyon
Erozyon kayıpları
yeniden
kazanım
paylaşma
Organik madde
alım
Elverişli besinler
yıkanma
Kil mineralleri

TOPRAK FAKTÖRLERİ İLE İLGİLİ MİNERALBESLENME SORUNLARI

Problem	Neden	Etkilenen toprak olayları	Mineral beslenme sorunları
drenajsızlık	Oksijen yetersizliği Kötü toprak strüktürü Fazla yağış/sulama	Denitrifikasyon ile N kayıbı İndirgen koşullar	N eksikliği Mn toksisitesi Fe toksisitesi azalan Na/K seçiciliği
kuruluk	Yağış/sulama yetersizliği Kötü infiltrasyon	Besin difüzyonu azalması Kök değinimi ile besin alımının azalması Kapillar yükselme	P eksikliği Mikroelement eksikliği Artan Na ve B toksisitesi
yıkanma	Fazla yağış Kumlu tekstür Sığ kök sistemi	Yıkanma ve derin dreanj asitleşme	N eksikliği K eksikliği B eksikliği
asitlik	Fazla yağış amenajman	Besin elverişliliği	Düşük Ca, Mg, K, P, N, B Al, Mn toksisitesi
alkalilik	Yüksek karbonat	Besin fiksasyonu	P, Zn, Mn, Cu eksikliği Yüksek Al (>8.5)
sodiklik	Yüksek Na doygunluğu	Besin elverişliliği Kötü toprak strüktürü	Yüksek Na düşük Zn, P, N

Mineral besin maddelerinin (ve alüminyum) Toprak pH'sı ile değişen Elverişliliği



Toprak pH'sı

BESİN ETKİNLİĞİ

(i) HÜCRESEL DÜZEYDE İHTİYAÇ
(ii) YEŞİL AKSAMDA KULLANIM
(iii) TOHUM REZERVLERİ

(i) KÖK-YEŞİL AKSAM TAŞINIMI
(ii) REMOBİLİZASYON
(iii) KÖKTE TUTUNMA ORANI

BESİN ALIMI

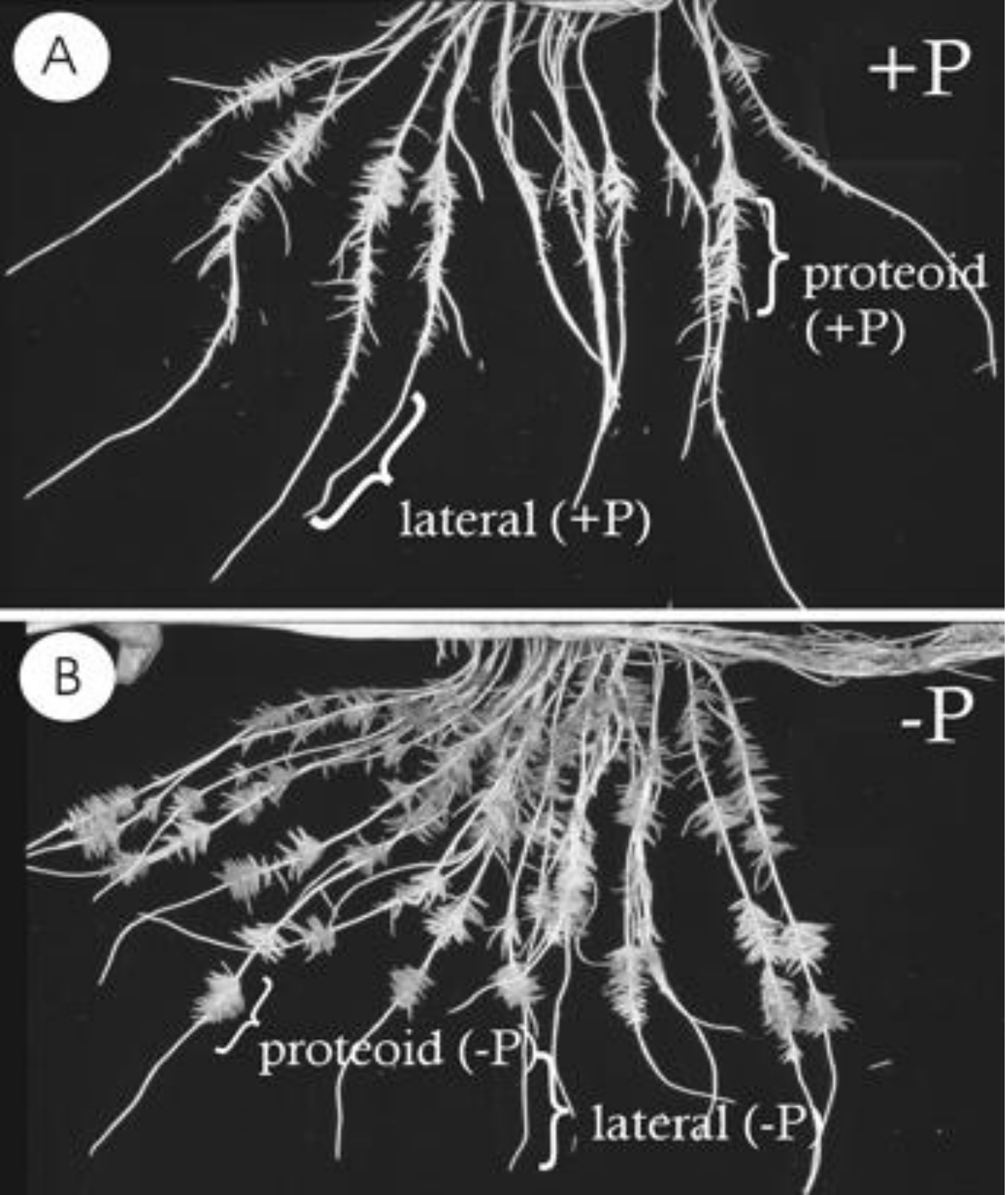
KÖK MORFOLOJİSİ

- KÖKLER
  - KALITSAL
  - İNDÜKLENEN
- MİKORİZA

RİZOSFER FİZYOLOJİSİ

(i) ALIM ORANI
(ii) ABSORPSİYON KAPASİTESİ
(iii) RİZOSFER MODİFİKASYONU

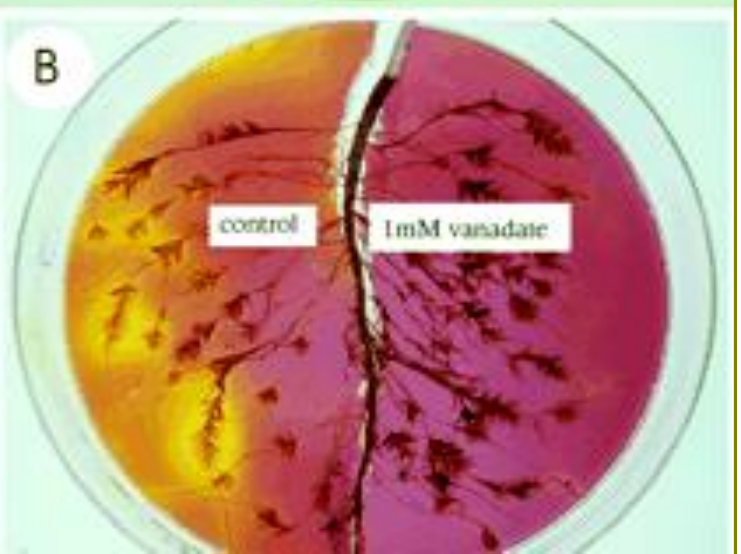
MİNERAL BESLENME PROBLEMLERİ İLE BİRLİKTE ARTAN PATOLOJİK OLAYLAR



Aküçgül'de P eksikliğine bağlı kök morfolojisi değişimi

Plant Physiol, May 2002, Vol. 129, pp. 50-63

(A) Aktif proteoid köklerin pH indikatörü katılan agar ortamında belirlenmesi

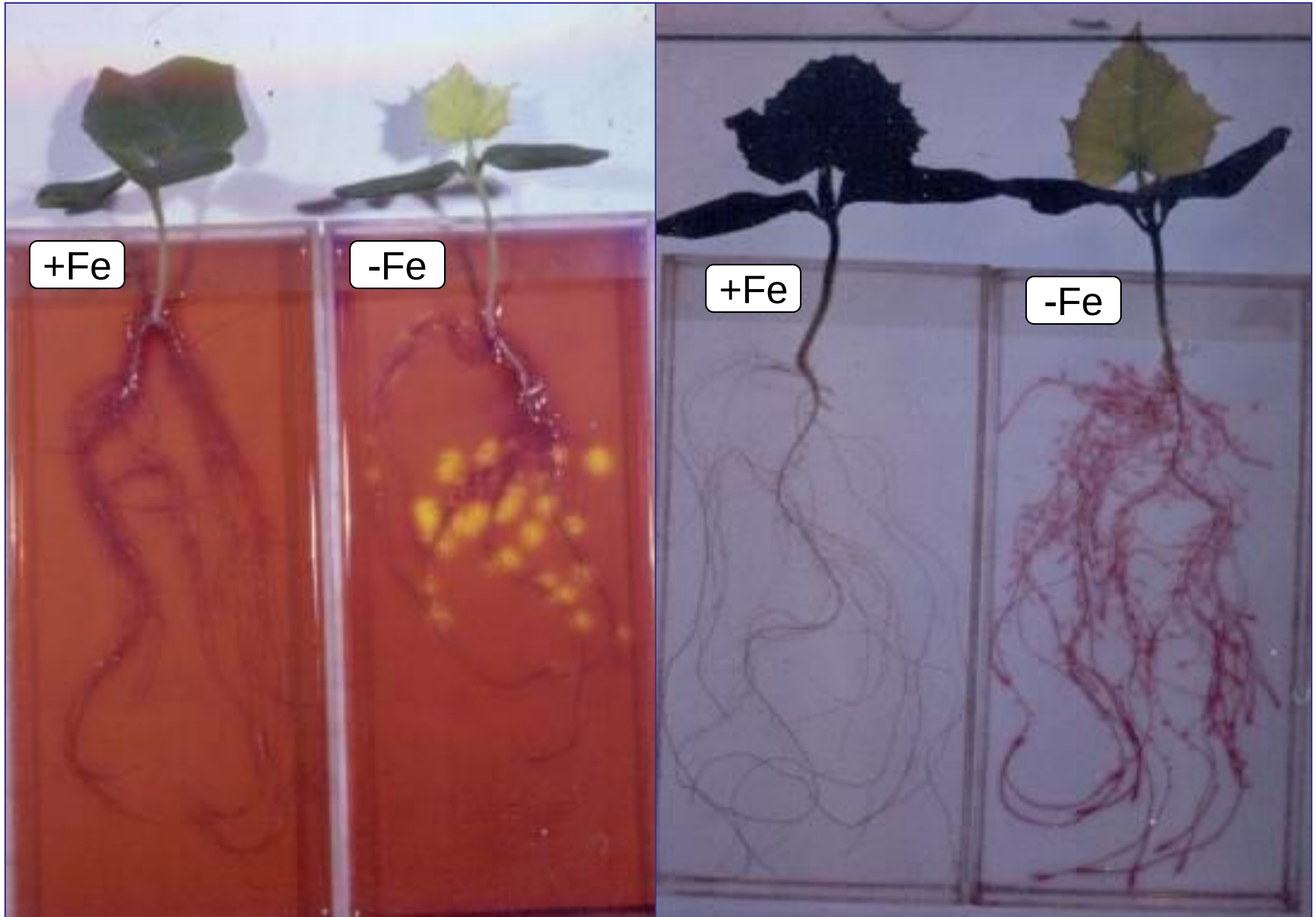


(B) Vanadat uygulaması ile rizosfer asidifikasyonunun inhibasyonu

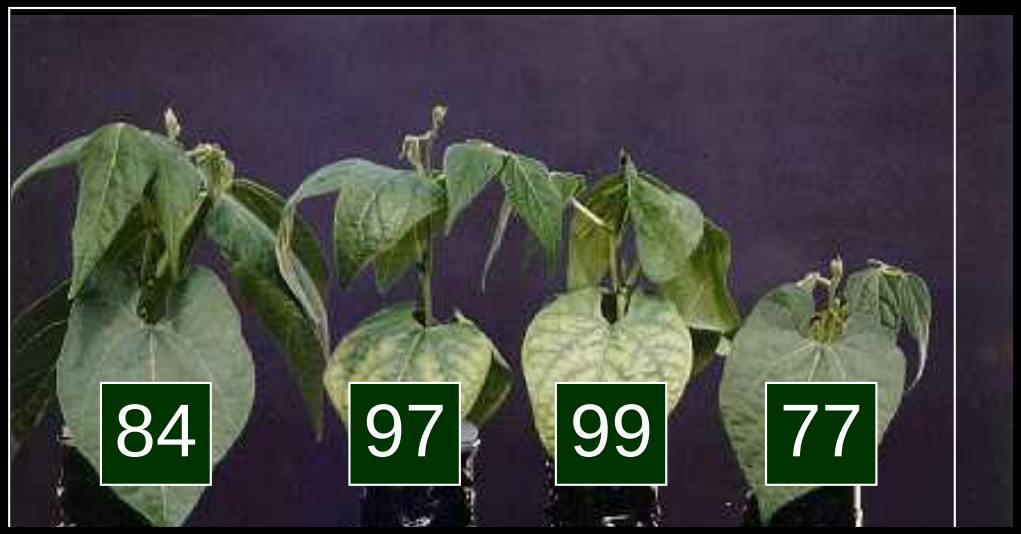
(bitkiler 3 hafta –P koşullarında yetiştirilmiştir)

Plant Physiol, May 2002, Vol. 129, pp. 50-63

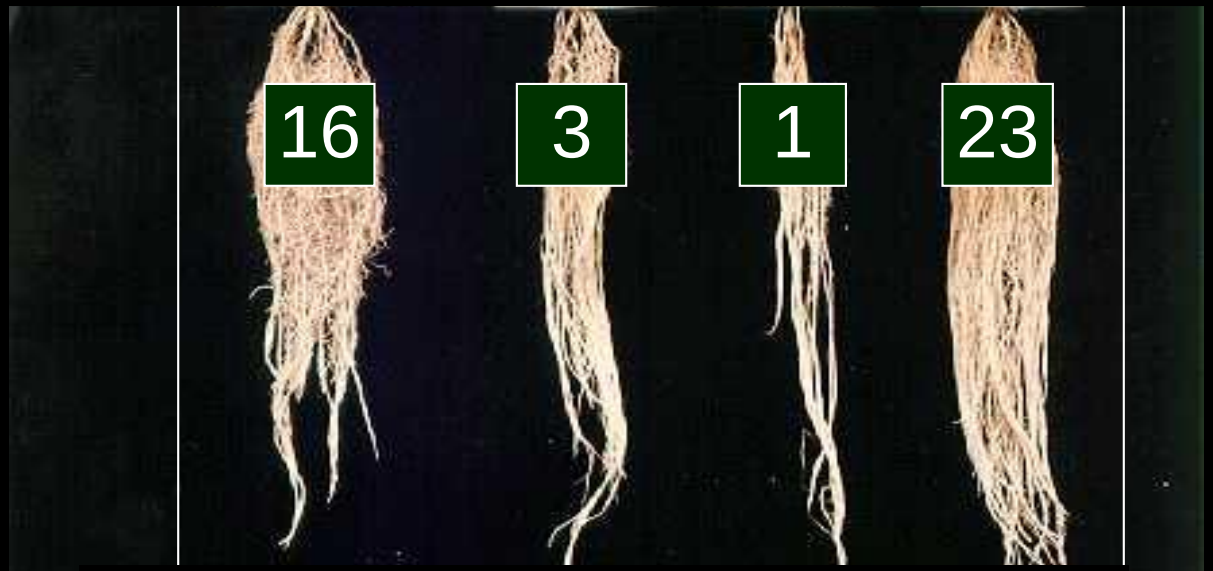
Hıyar'da Fe eksikliğine bağlı rizosferde artan pH düşürme (H+ salımı) kapasitesi ve Fe redüktaz ($Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$) aktivitesi



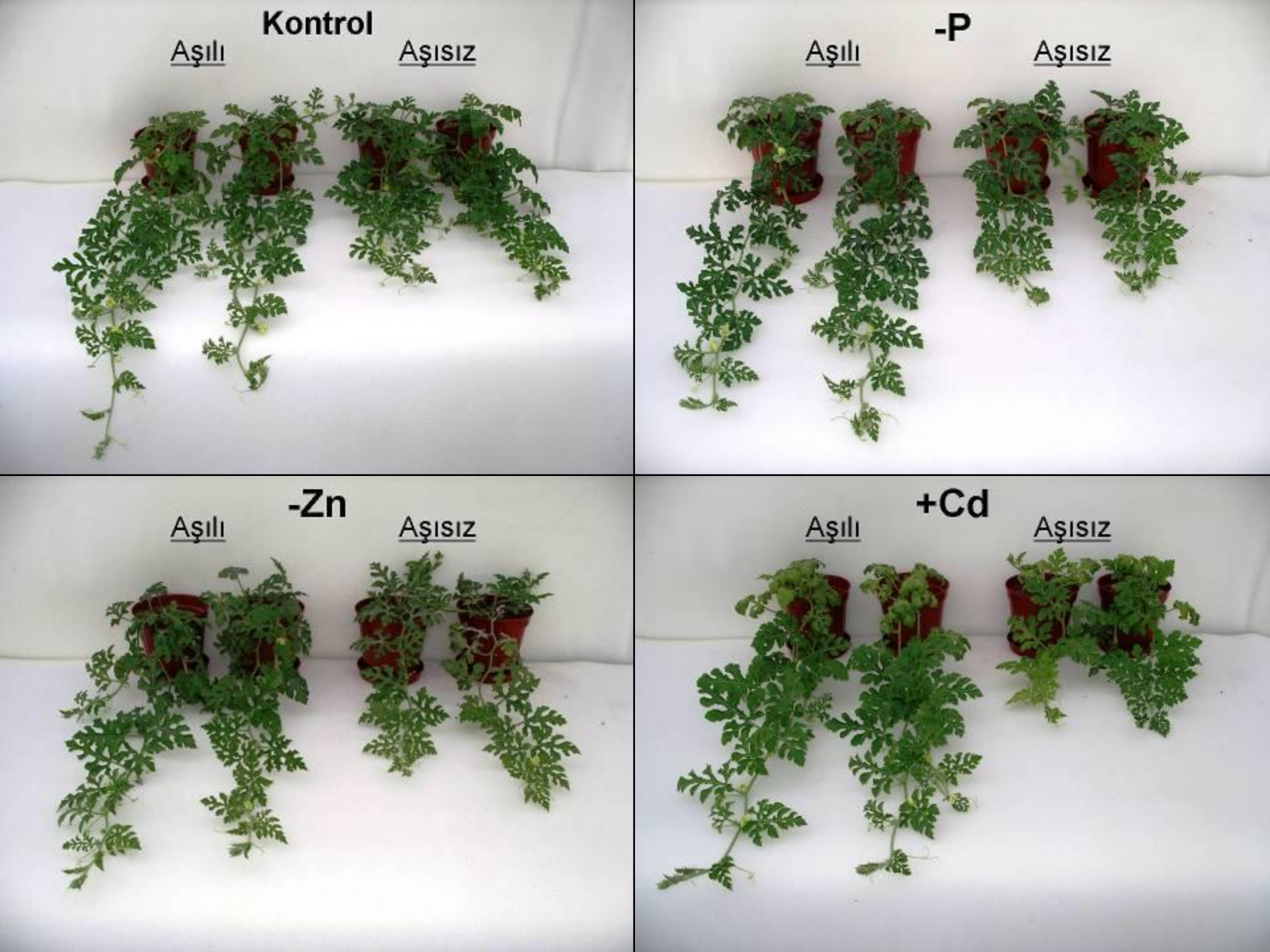
NO_3^- ve NH_4^+ beslenmesine göre rizosferde pH değişimi



Yeşil aksam ve kökte karbonhidrat dağılımı (%)

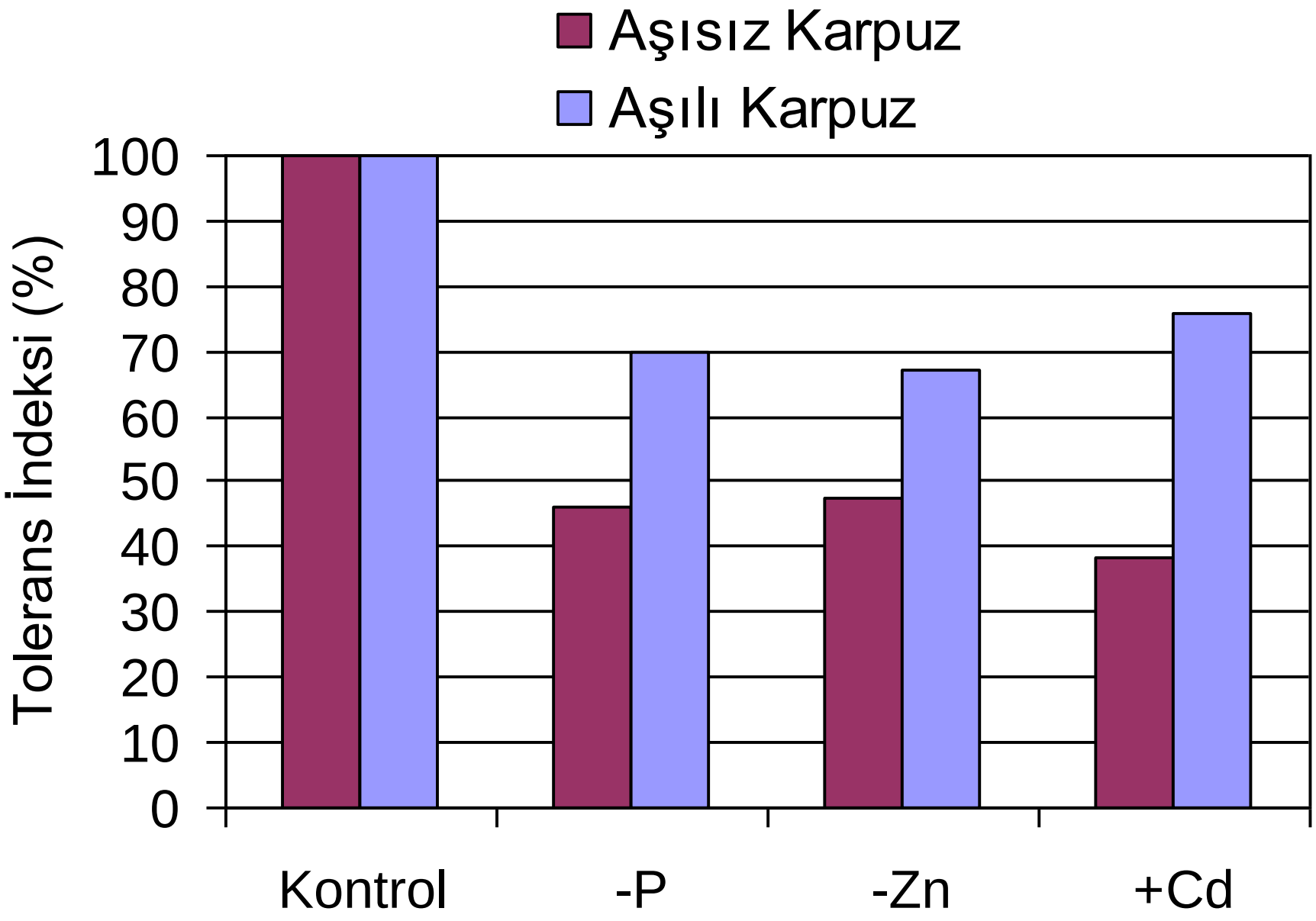


kontrol -K -Mg -P

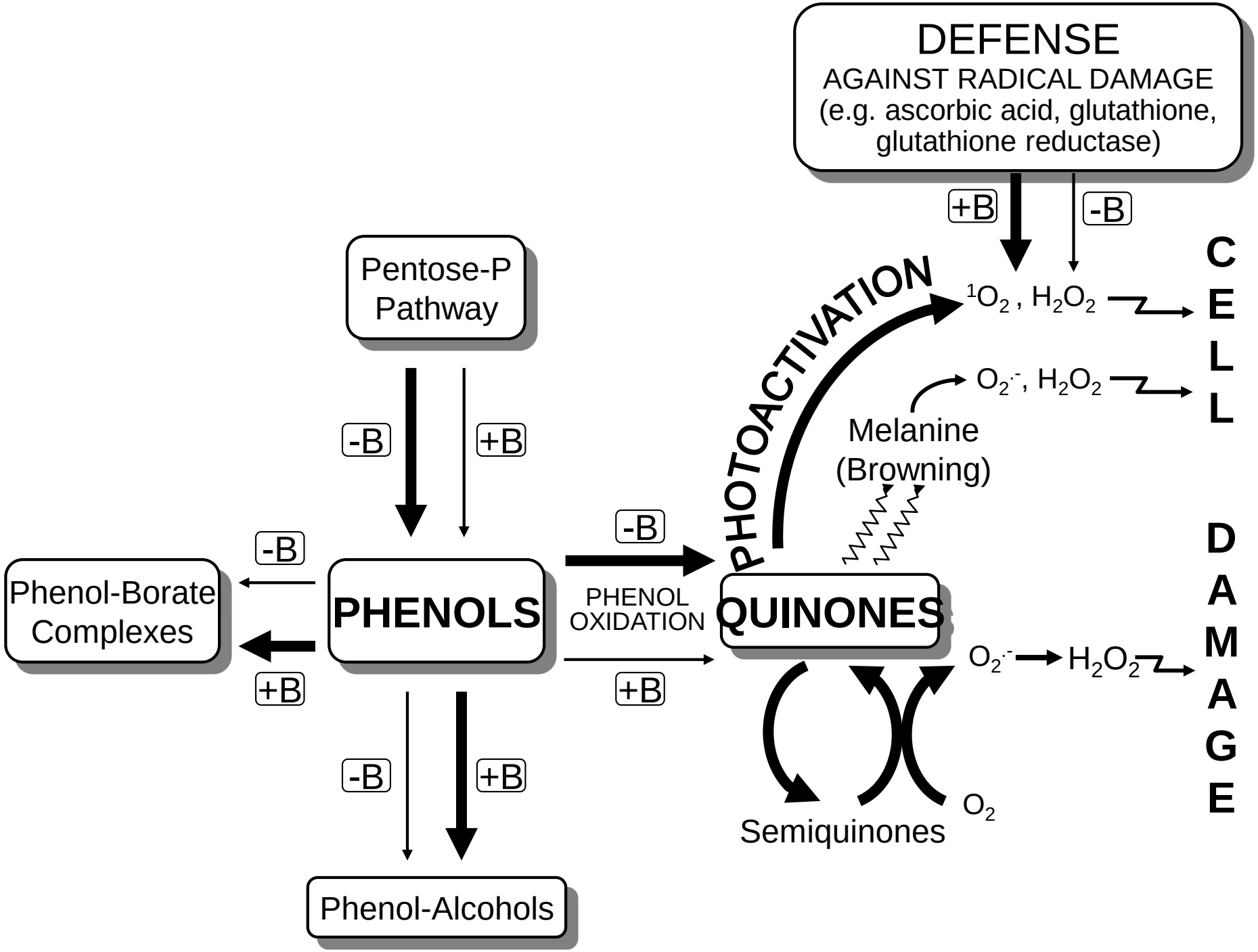

Kontrol
Aşılı
Aşısız
-P
Aşılı
Aşısız
-Zn
Aşılı
Aşısız
+Cd
Aşılı
Aşısız

TOLERANS İNDEKSİ (DAYANIKLILIK)

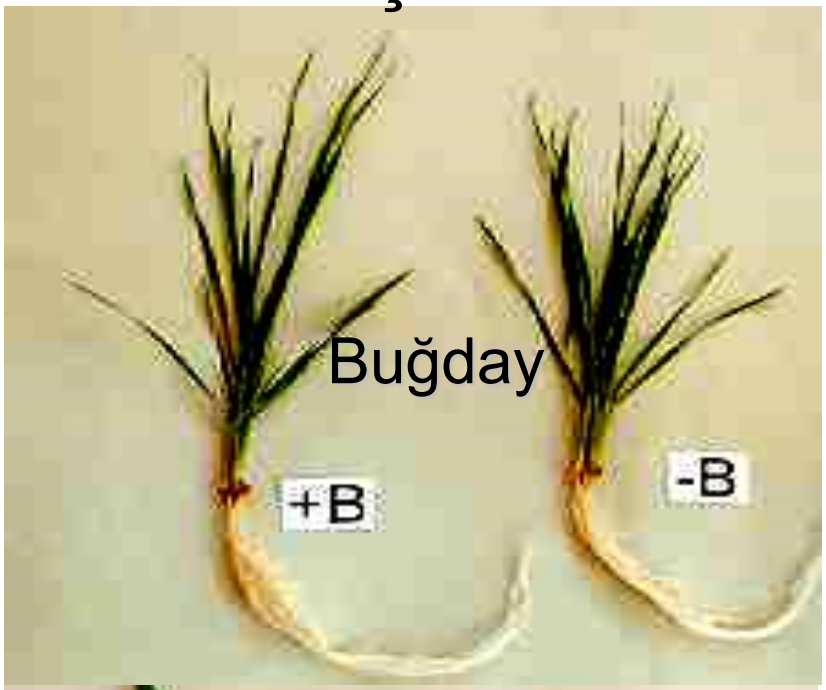
$$\frac{\text{STRES KOŞULLARINDAKİ VERİM}}{\text{KONTROL KOŞULLARINDAKİ VERİM}} \times 100$$

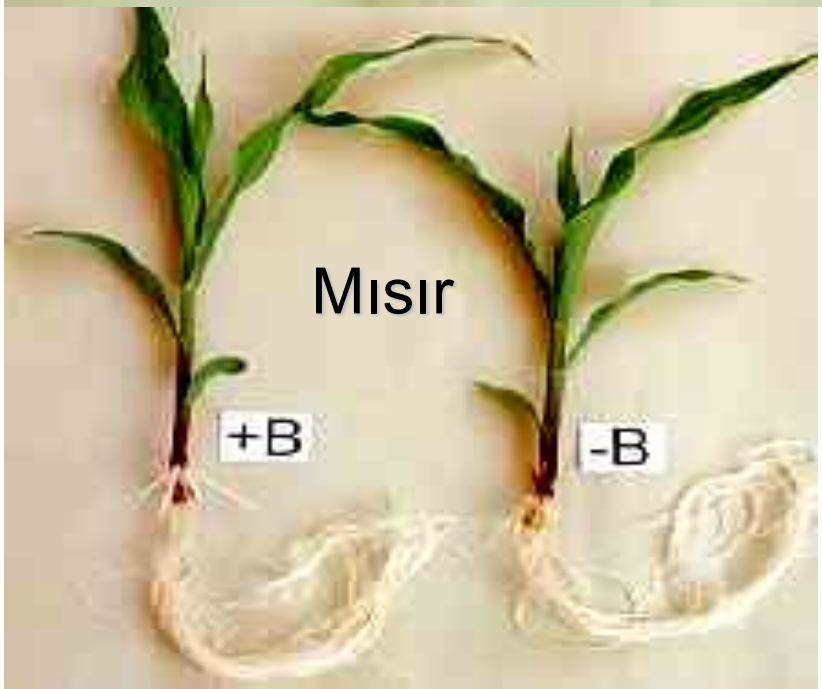


Cakmak et al, (unpublished results)

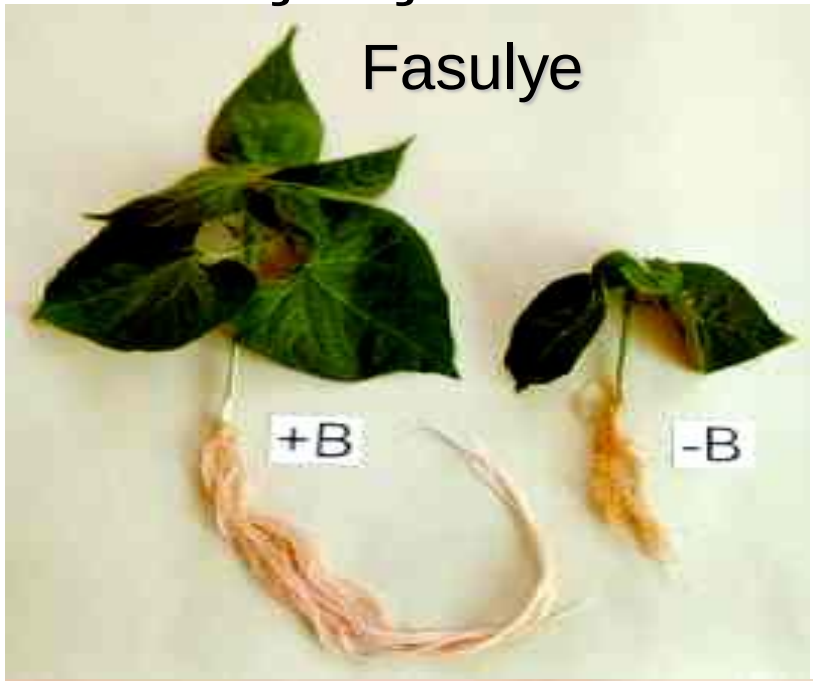

DEFENSE
AGAINST RADICAL DAMAGE
(e.g. ascorbic acid, glutathione, glutathione reductase)
+B
-B
Pentose-P Pathway
-B
+B
PHOTOACTIVATION
$^1O_2$, H_2O_2
CELL
$O_2^{\cdot -}$, H_2O_2
Melanine (Browning)
-B
Phenol-Borate Complexes
PHENOLS
PHENOL OXIDATION
QUINONES
+B
+B
$O_2^{\cdot -}$
H_2O_2
DAMAGE
-B
+B
Semiquinones
O_2
Phenol-Alcohols

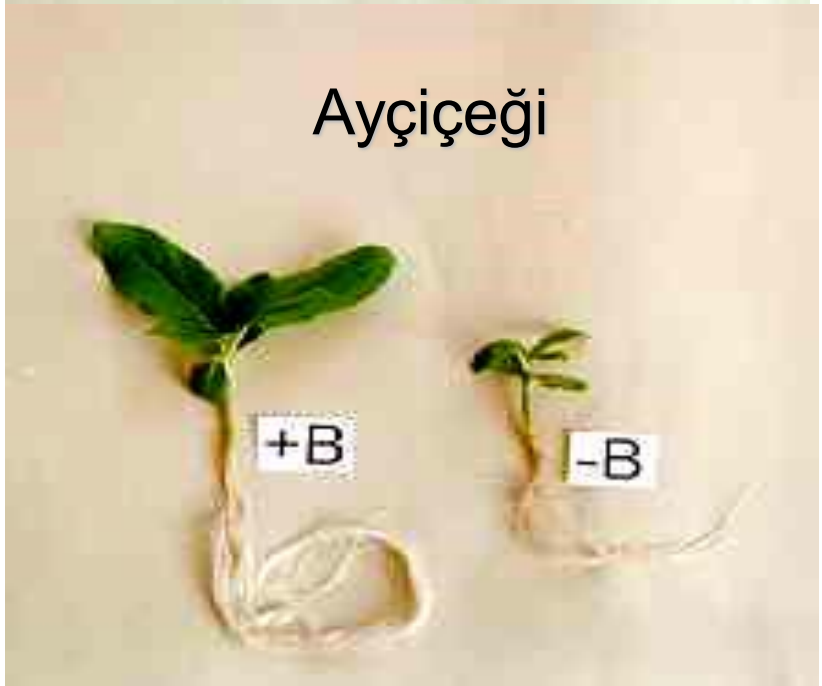
Tek Çenek



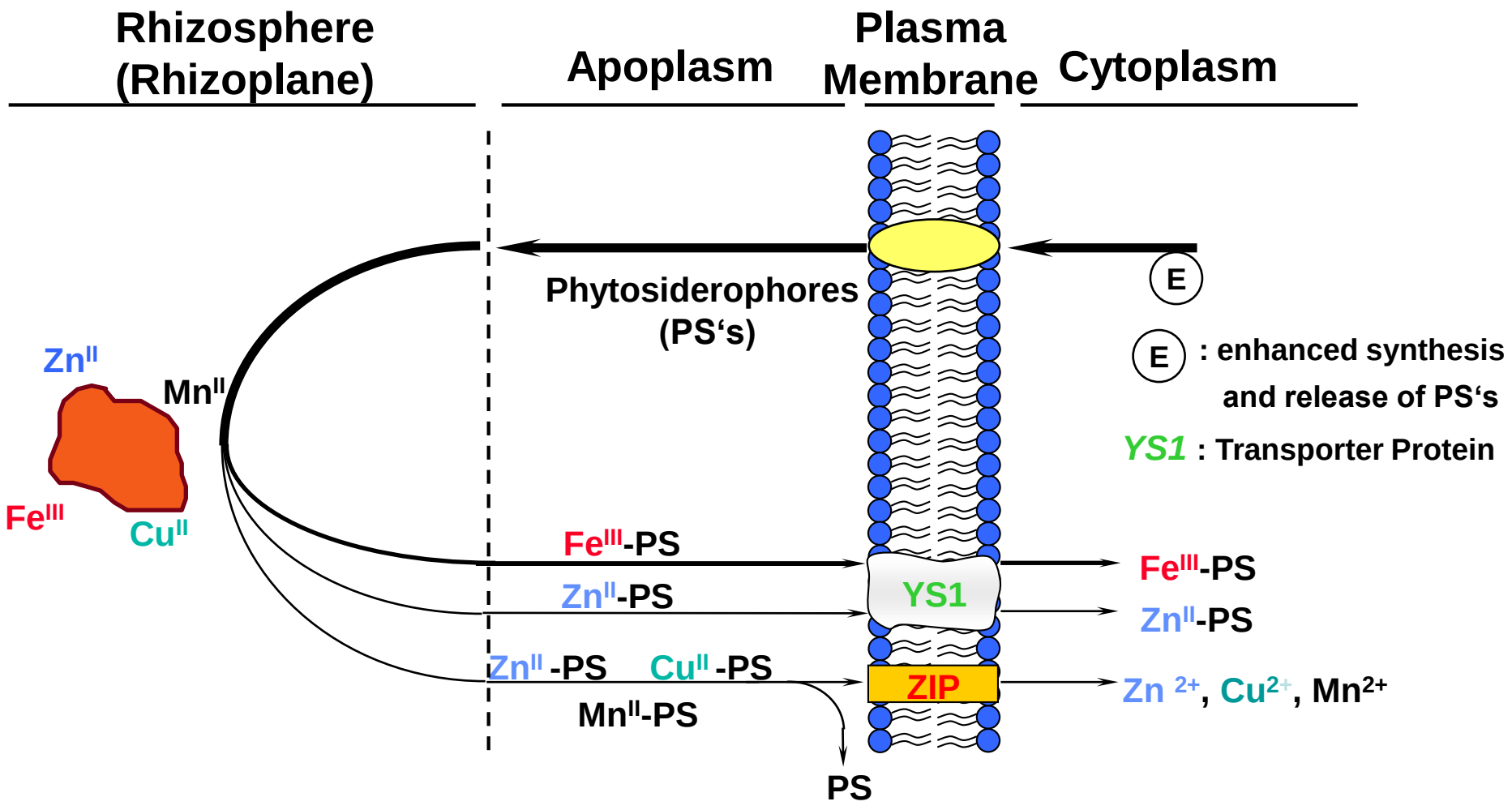


Çift Çenek

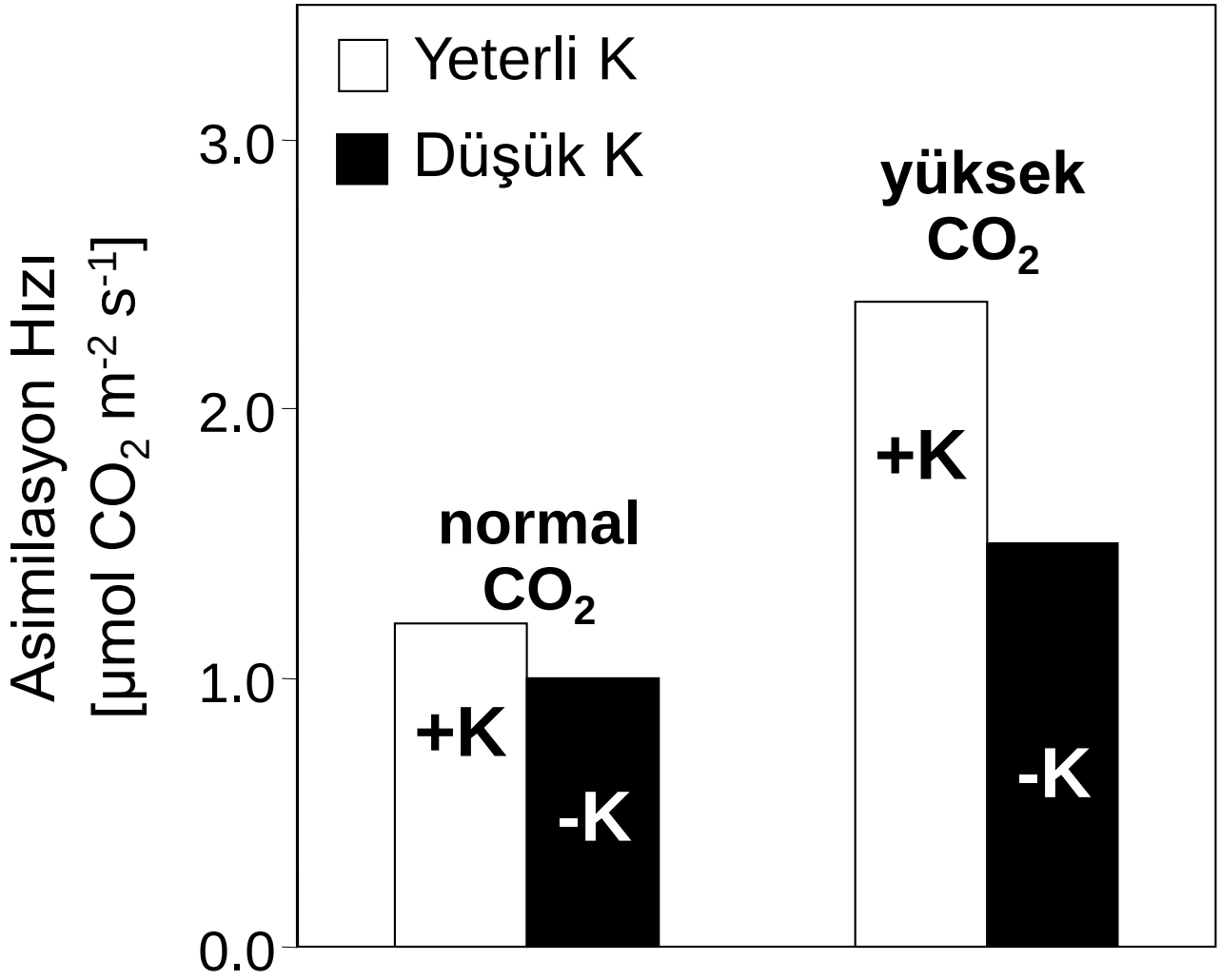




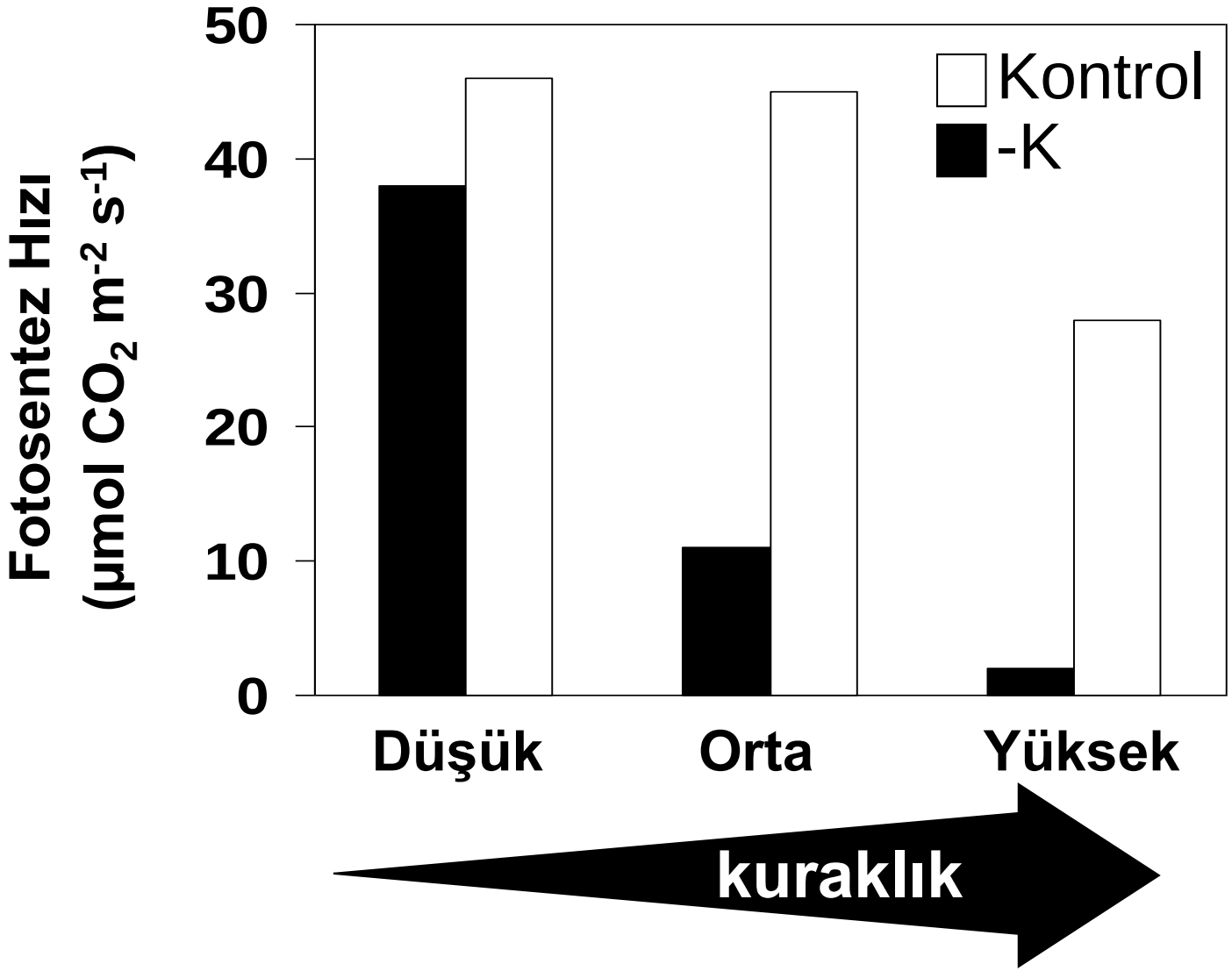
ROLE OF ZINC TRANSPORT PROCESSES IN ZINC EFFICIENCY OF CEREALS



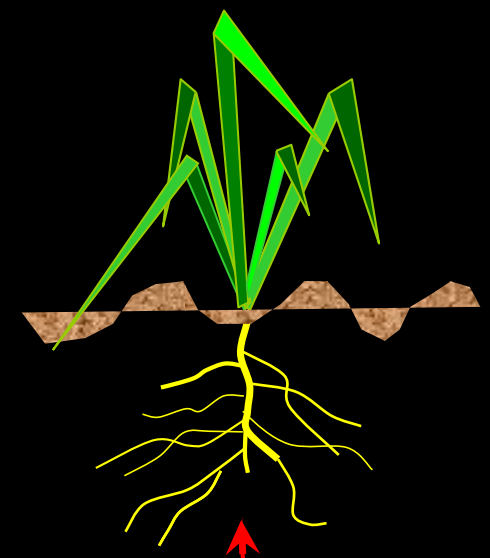
CO_2 Gübrelemesi ve K Beslenmesinin Fotosenteze Etkisi



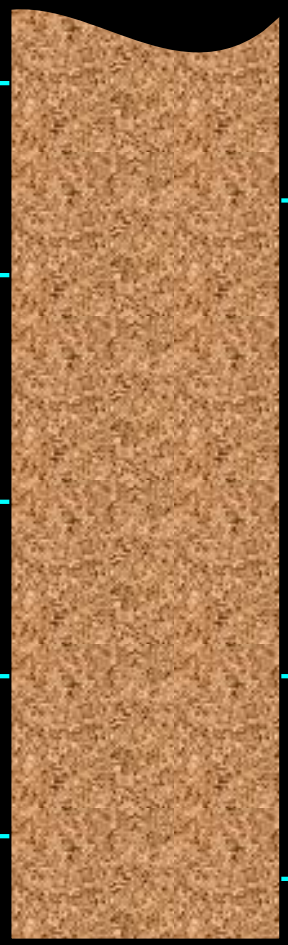
Kuraklık Stresinde K Beslenmesinin Fotosenteze Etkisi



BİTKİLERİN FOSFOR ve ÇİNKO ALIMINI ETKİLEYEN TOPRAK FAKTÖRLERİ



Toprak



- Yüksek $CaCO_3$
- Yüksek pH
- Ağır tekstür
- Düşük org. madde
- Düşük toprak nemi

Artan P/Zn Fiksasyonu

Azalan P/Zn absorpsiyonu

Fosfor gübrelemesi: Tam bir çözüm mü?

Toprakta P fiksasyonu:

pH<6.5 → Fe, Al ve Mn ile reaksiyona girerek çökelme ve silikatlı kil minerallerine bağlanma

pH>7.5 → Çözünmez durumdaki Ca-fosfat türlerinin oluşumu

pH≈7.0 → Kireçli topraklarda Ca ile doygun kil minerallerine bağlanma

P gübrelemesinin maliyeti:

- üretim
- transport
- uygulama

Çevresel:

- dünya P rezervlerinin tüketimi (<50 yıl)
- ötrafikasyon
- transport kaynaklı yakıt kirliliği

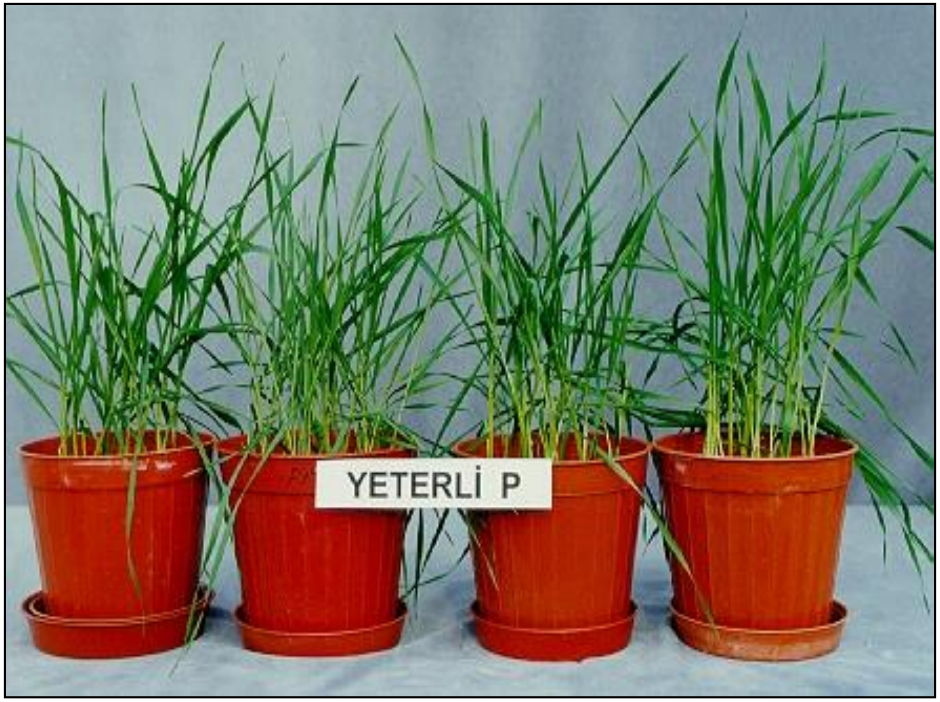
•Türkiye topraklarında fosfor yarayışlılığı

- Tarım alanlarının
  - % 82'sinde pH $\geq$ 7
  - % 90'ında organik madde < % 2-3
  - % 65'inde bitkilerce alınabilir P düşük (<6 kg P_2O_5 da^{-1})

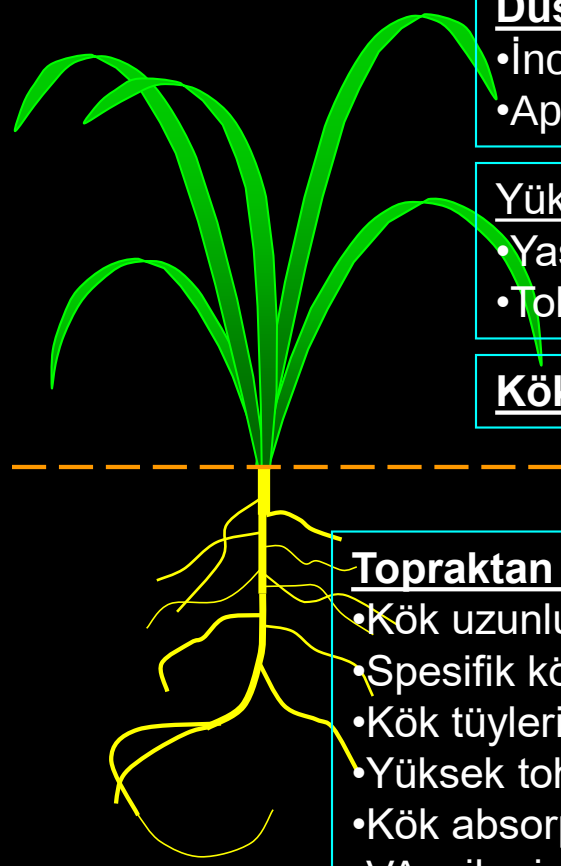
•Toprak Gübre Araş. Enst. Yayınları, 1995

Çözüm:

Toleransı yüksek tür/çeşit kullanımı



Düşük P Toleransında Kullanılabilecek Kantitatif Özellikler



Düşük doku gereksinimi
- İnorganik/Organik P oranı
- Apoplazm/Simplazm Kompartmantasyonu

Yüksek retranslokasyon
- Yaşlı yaprak dokusundan P mobilizasyonu
- Tohum P'unun mobilizasyonu

Kökten yeşil aksama yüksek translokasyon

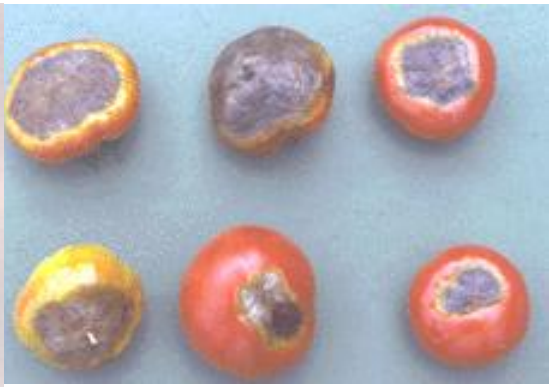
→ **Yüksek P-kullanım etkinliği**

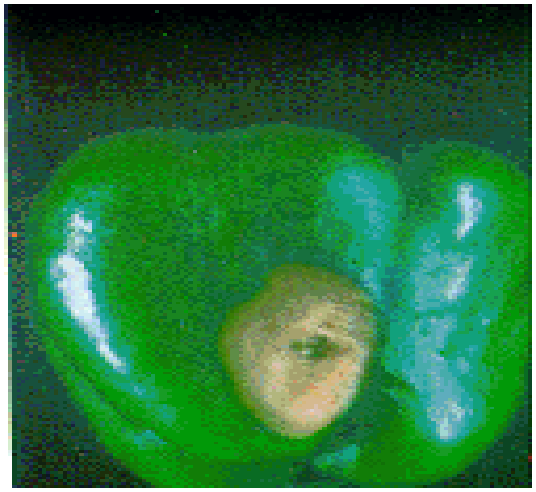
Topraktan yüksek oranda P absorpsiyonu
- Kök uzunluğu
- Spesifik kök yüzey alanı
- Kök tüyleri
- Yüksek tohum P rezervi sayesinde erken kök gelişimi
- Kök absorpsiyon aktivitesi: C_{min}, K_m, I_{max}
- VA mikoriza

Toprakta P mobilizasyonu
- Köklerden asit fosfataze salınımı
- Rizosfere organik asit, HCO_3^- ve H^+ salınımı

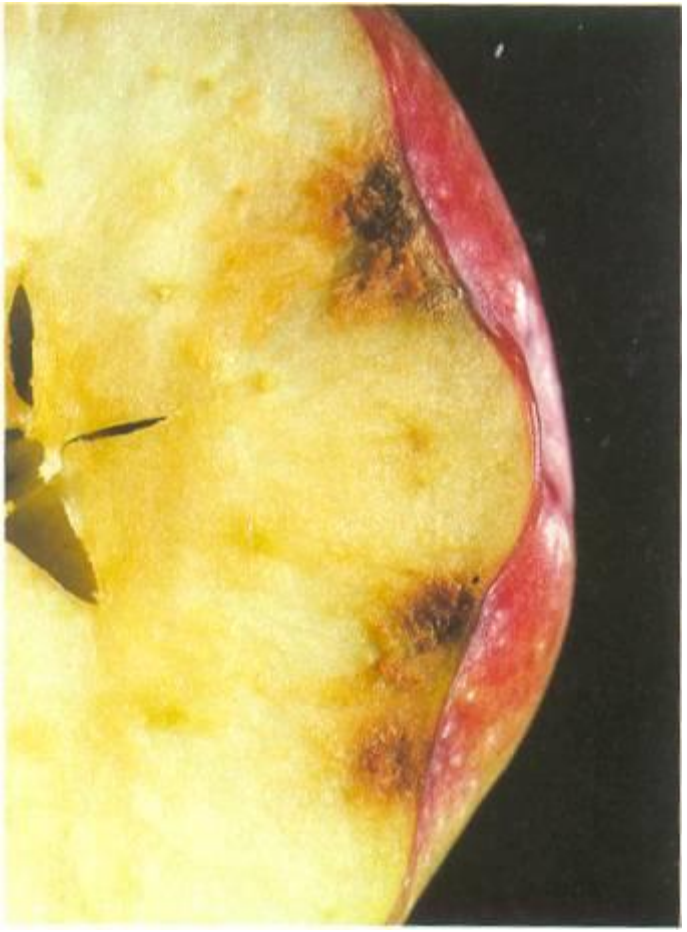
→ **Yüksek P-absorpsiyon kapasitesi**

Kalsiyum eksikliği

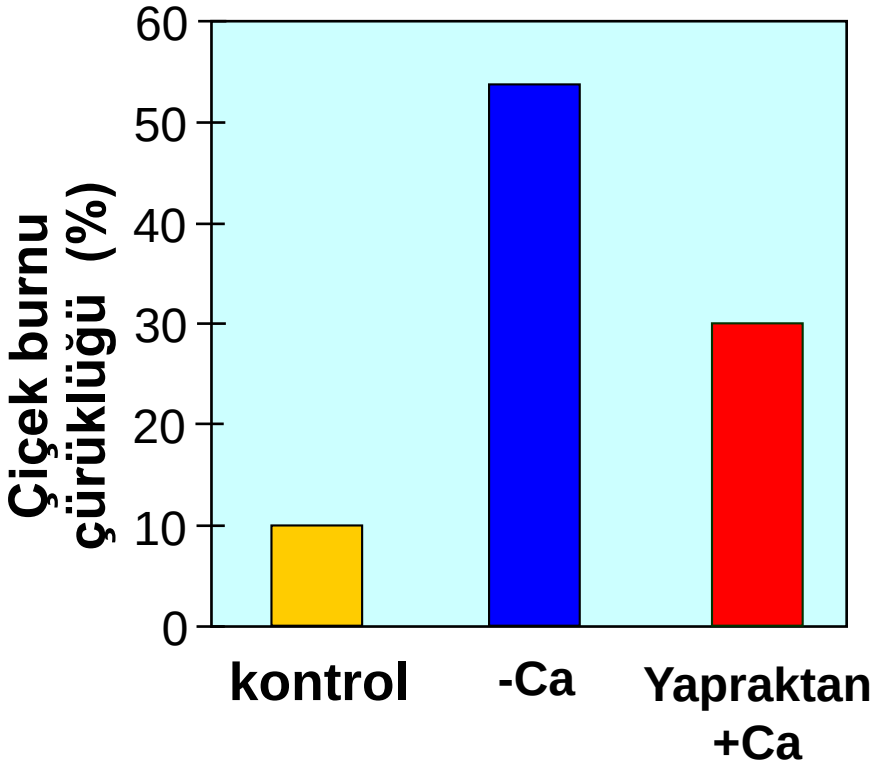


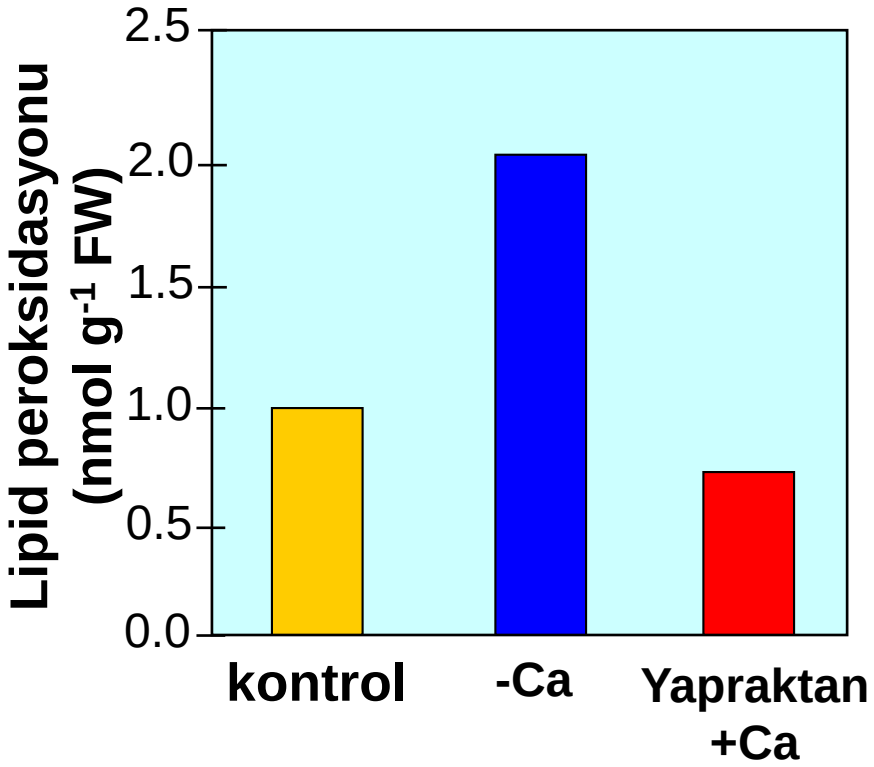


14. Blossom end rot



Yapraktan Ca uygulaması ile...





Schmitz-Eiberger et al., J. Plant Physiol. 2002, 159: 733-742

BİTKİLERDE TUZ STRESİ

Bitkilerde tuz stresi, üretimi etkileyen önemli bir kısıtlayıcı çevresel faktördür.

Tuzluluğun nedenleri;

- Düşük yağış,
- Yüksek evapotranspirasyon,
- Tuz yatakları,
- Tuzlu sulama suları.

Tarımsal üretimde tuzluluk

- Toprak tuzluluğu
- Sulama suyunda tuzluluk

Toprak Tuzluluğu,

- Çoğunlukla yağış miktarı az, yüksek sıcaklık derecelerine sahip, kurak ve yarı kurak ekolojilerde ortaya çıkmaktadır.

- Toprağı oluşturan tuzlu kayaçların zaman içerisinde ayrışmasından ve yağış azlığı nedeniyle tuzların yıkanmasının sınırlı olmasından ortaya çıkmaktadır.

Tuzluluk sorununa neden olan bileşikler;

- Klorlar ($NaCl$, $CaCl_2$, $MgCl_2$),
- Sülfatlar ($NaSO_4$, $MgSO_4$),
- Nitratlar ($NaNO_3$, KNO_3),
- Karbonatlar ve bikarbonatlar ($CaCO_3$, Na_2CO3, $NaHCO_3$)
- Boratlar
- Ancak genelde toprak tuzluluğu ve tuz stresi denildiğinde **NaCl'ün baskın varlığından** söz edilmektedir.

- Eveporasyon nedeni ile su yitmesinin yüksek olduğu ekolojilerde, toprağın alt katmanlarında bulunan tuz, kılcal su hareketi, kapillarite ile yukarı doğru toprak yüzeyine taşınmakta ve bitki kök bölgesi çevresinde birikmektedir.

- Çözülebilir tuzların miktarı, bitkinin gereksinim duyduğu miktarın üzerine çıktığında sorunlar başlamaktadır.

Toprak tuzluluğu sınıfları

EC (dS/m)

- 0-2 : Tuzsuz
- 2-4 : Çok az tuzlu
- 4-8 : Az tuzlu
- 8-16 : Orta tuzlu
- 16 > : Çok tuzlu

Sulama suyu kaynaklı tuzluluk problemi

- Bitkileri sulamada kullanılan, yüzey ve yer altı su kaynaklarında çözülebilir tuz konsantrasyonlarının belli bir sınırın üzerinde olması

Sulama sularının tuzluluk sınıfları

EC (dS/m)	Suyun sınıfı
0.7 <	: Tuzsuz su
0.7-2	: Az tuzlu su
2 -10	: Orta tuzlu su
10-25	: Yüksek tuzlu su
25-45	: Çok yüksek tuzlu su
45 >	: Deniz suyu seviyesi

Bitkileri strese sokan tuzluluk bazen farklı kaynaklı olabilmektedir

- Gereksiz, aşırı sulamalar
- Yetersiz drenaj
- Seralarda yapay tuzlanma
- Yüksek taban suyu
- Deniz suyunun karışması

Sera yetiştiriciliğinde yapay tuzlanma sorunu

– Monokültür yetiştiricilik,
  aynı gübreleme programı

– Dengesiz ve fazla gübreleme

– Sera toprağına yağış düşmemesi
  yıkanma olmaması

Tarımsal anlamda ekonomik öneme sahip pek çok bitki türü tuzluluktan etkilenmektedir

Duyarlı (EC 1.5 -3 dS/m)	Orta Tolerant (EC 3-5 dS/m)	Tolerant (EC 5-10 dS/m)
Fasulye, bezelye, turp, havuç, soğan	Lahana, patates, domates,karnahabar, tatlı patates, baş salata, kereviz, karpuz, kavun, hıyar, biber, patlıcan	Ispanak, kırmızı pancar, kabak, kuşkonmaz
Mecimek, susam	Yer fıstığı, mısır, çeltik, şeker kamışı, ayçiçeği, soya fasulyesi	Arpa, şeker pancarı, pamuk, darı, buğday
Elma, kayısı, turunçgiller, şeftali, ahududu, çilek	Armut, incir, asma, nar	Hurma

Bitkiler tuzlu koşullarda üç yolla strese girmektedir;

- **1.** Kök çevresinde tuz konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak, doğrusal şekilde su potansiyeli azalmaktadır. Bunun bir sonucu olarak tuz konsantrasyonu arttıkça bitki daha az su almaktadır. Bu duruma ***fizyolojik kuraklık*** veya ***osmotik stres*** de denmektedir.

- **2.** Kök çevresindeki artan Na^+ ve Cl^- iyonlarının fazla miktarda alınması toksisiteye neden olmaktadır.

- **3.** Ortamda Na^+ katyonunun, Cl^- ve SO_4 anyonlarının artması, diğer mineral maddelerin alımı sırasındaki rekabette kök çevresinde iyon dengesinin bozulmasına neden olmaktadır.

  Özellikle K^+, Ca^{2+}, NO_3^- alımı önemli derecede azalmakta, bu durum bitkinin mineral beslenmesinde bozulma ve dengesizliklere yol açmaktadır.

Tuz Stresinde Bitkide Neler Oluyor ?

- Hücre bölünmesi ve uzaması yavaşlar,
- Bitkide büyüme yavaşlar, stresin şiddeti ve süresine bağlı olarak büyüme ve gelişme durabilir,
- Su kaybını azaltmak için yaprak alanı daraltılır (küçük ve az yaprak), stoma açılması kontrol altına alınır, ancak bu CO_2 girişini azalttığı için fotosentez azalır,

- Tuzlu koşullara maruz kalan bitkiler, genelde bodur bir yapı sergileyerek, küçük ve koyu yeşil yapraklara sahip olduğu görülmektedir,

- Yapraklarda kıvrılmalar, kloroz ve nekrotik lekeler ortaya çıkabilir, tuz stresinin süre ve şiddeti arttığında bitki ölümleri gerçekleşebilir,

- Yukarıdaki olumsuzluklar sonucu, ürünün verimliliğinde ve kalitesinde azalma kaçınılmaz olmaktadır.

Bitkiler tuz stresine karşı nasıl adaptasyon mekanizmaları geliştirir?

I. Kaçınma (Avoidance) mekanizması

- **Tuzu hücreye almamak:** Kök hücrelerinde Na tuzlarına karşı düşük membran geçrigenliğinin söz konusu olması ve tuzun hücre içine alınmaması,

- **Zararlı iyonları hücre dışına pompalamak:** Hücre içerisinde tuz konsantrasyonu belli bir düzeyin üzerine çıkınca, düşürmek için enerji harcayarak, Na pompaları hücre dışına atılması, ihraç edilmesi,

Seyreltme yapmak: yeterli miktarda su alımı ve hızlı büyüme ile bünyedeki tuz konsantrasyonunun, zarar verecek eşikten düşük tutulmasını sağlanmak,

Tuz iyonlarının translokasyonunu düzenlenmek: Na^+ ve Cl^- gibi zararlı iyonların köklerden yeşil aksama taşınmasının azaltılması veya engellenmesi,

Tuz zararına neden olan Na ve Cl iyonlarının yaşlı yapraklarda biriktirilmesi ve genç yapraklara gönderilmeyerek onların korunması

II. Tolerans Mekanizması

Osmoregülasyon / veya Osmotik strese tolerans

Tuzlu bir ortamdaki hücrenin kendisini çevreleyen osmotik stres ile baş edebilmesi, dış ortamdaki düşük su potansiyelinde, hücreyi turgor halinde tutarak yaşamsal olaylara devamını sağlaması ve hücreyi su kaybından koruması için hücre içindeki çözülebilir maddelerin konsantrasyonunun yükseltmesidir. Böylece hücre içinde su potansiyeli düşürülerek hücreye su girişi sağlanabilir ve turgor korunabilir aksi durumda hücre su kaybedecektir.

Bunun için

1. Aktif iyon alımı; Na^+, K^+, Cl^- Ca^{2+}
2. Organik çözülebilir bileşiklerin sentezlenmesi; şekerler, serbest amino asitler; prolin, glycine betain, gliserol vb.

- **Doku toleransı:** Osmoregülasyon için bol miktarda hücre içine alınan Na ve Cl iyonlarının bitkide görülebilir bir toksik etkisinin olmaması (vakoellerde biriktirme)

- **Besin elementi eksikliklerine tolerans**: Tuzlu koşullarda artan K^+, Ca^{2+} alımının gerçekleştirilmesi

- **Antioksidatif Savunma Mekanizması:** Tuz stresi altında hücrede artan serbest oksijen radikallerinin enzimatik yollarla zararsız formlara dönüştürülmesi;
    - Süperoksit dismutaz
    - Askorbat peroksidaz
    - Glutatyon reduktaz

    Tuz stresinde bazı antioksidantların üretilerek hücreye toksik etki yapan serbest oksijen radikallerine karşı kullanılması;
    - Askorbik asit
    - Vitamin E
    - Glutatiyon
    - β-karoten
    - Zeaksantin

Bitkisel Üretimde Tuzluluğun Zararlı Etkisini Azaltmak için,

- Tuzlu toprakların ıslah edilmesi,
- Tuzlu sulama sularının iyileştirilmesi,
- Yetiştiricilik sırasında özel tekniklerin kullanılması,

Ancak, tuzluluğun zararlı etkisini azaltmaya yönelik bu uygulamalar, pahalı ve geçici çözümler getiren uygulamalardır

Kalıcı çözüm ise, tuzluluğa dayanıklı genotiplerin seçilerek üreticilere önerilmesi veya ıslah çalışmaları ile yeni çeşitlerin geliştirilmesidir.

Bir tür içerisindeki **genetik çeşitlilik**, tuzluluğa dayanıklılık çalışmaları için çok değerli bir olanaktır.

Aynı tür içinde tuzluluğa dayanıklılık bakımından oldukça **geniş bir varyasyonun** olduğu ekonomik ve tarımsal öneme sahip pek çok tür için bildirilmektedir (domates, biber, patlıcan, kavun, buğday, pamuk vb.)

Tuza Tolerant Genotiplerin Seçimi

- Pek çok bitki türünde tuzluluğa dayanıklılığın, bitkinin gelişme aşamalarına, (fide, genç bitki, olgun bitki, reprodaktif dönem) bağlı olarak değişebileceği rapor edilmektedir.

- Bununla birlikte pek çok bitki türünde tuzluluk için **"tarama" (screening) teknikleri** ve fizyolojik çalışmalar **genç bitki aşaması** temel alınarak yapılabilmektedir.

- Çimlenme, genç ve olgun bitki aşamalarının, besin çözeltisi kültürü (hidroponik) ve toprak denemeleri ile karşılaştırıldığı çalışmalarda,

- Besin çözeltisinde genç bitki aşaması sonuçları ile topraktaki olgun bitki aşamasındaki sonuçlar arasında **önemli korelasyonlar** bulunmuştur.

- Araştırıcılar, genç bitki aşamasında çalışmanın daha az zaman, daha az emek ve daha az para harcanmasını sağladığını,

- Genotiplerin “tarama” çalışmalarında, Toprak yanında substrat veya su kültürü teknikleri kullanmanın daha avantajlı olduğunu toprağın heterojen yapısı nedeniyle tutarsız sonuçların elimine edildiğini vurgulamışlardır.

- **Universal ve karşılaştırılabilir sonuçlar**

Domates genotiplerinin tuza dayanıklılığı için genç bitki aşamasında, su kültürü ortamında yapılan bir “tarama” çalışmasından görüntü

Tuza Tolerant Genotiplerin Seçiminde Kullanılabilecek Parametreler;

- Tuzlu koşullarda büyütülen farklı genotiplerin/hatların, tuzdan etkilenmeleri görsel bir skala ile değerlendrilebilir.

Günlük büyüme oranı (RGR)

Tuz stresi altında yetiştirilen farklı genotiplerin **günlük büyüme oranı** bir “tarama parametresi” olabilir.

Nisbi Büyüme Oranı (Relative Growth Rate) (g/gün) =
(stres süresi sonunda ağırlık - stres öncesi ağırlık) / stres süresi

Tuz stresinde büyütülen genotiplerin **kuru madde üretim miktarı**, bir tarama parametresi olarak kullanılabilir.

Kuru Madde Stres Indeksi veya Tuz Etkinliği (%) =

(tuz uygulamasındaki KM / kontrol koşullarındaki KM) x 100

Bitkilerin tuzluluğa dayanıklılık mekanizmasında **“iyon regülasyonu”** son yıllarda çok önemli bir faktör olarak ortaya atılmaktadır.

•Genel olarak tuzlu koşullarda yetişen bitkilerin yaprak ve köklerinde Na konsantrasyonu artmaktadır. Aynı bitkilerin yapraklarındaki Ca ve K konsantrasyonları ise önemli düzeyde düşmektedir.

•Na birikmesinin kontrol altına alınması ve K/Na ve Ca/Na oranlarının yükseltilmesi “tuz stresine tolerans” için istenen bir durumdur.

•Bu amaçla bitkilerin yeşil aksam ve kök dokularında **Na, K ve Ca analizleri** yapılarak, miktarları belirlenebilir. İlgili oranlar incelenebilir.

Yaprak Oransal Su İçeriği (RWC)

Yaprak Oransal Su İçeriği (Relative Water Content) (%) =
(TA – KA) / (TuA - KA) x 100

TA: Taze Ağırlık
KA: Kuru Ağırlık
TUA: Turgor Ağırlığı

Membran Zararlanma İndeksi (Hücre Zarı geçirgenliğinin Ölçülmesi)

- Tuz stresi altındaki farklı genotiplerde, kök ve yeşil aksam hücrelerinde tuz stresi sırasında membran zararlanması belirlenerek, bir tarama parametresi olarak kullanılabilir.

Membran Zararlanma İndeksi (%) =

$1-(R_{tuz1}/R_{tuz2})\ /\ 1-(R_{kont.1}/R_{kont.2})\ \times 100$

R_{tuz1}ve $R_{kont.1}$: tuz stresi kontrol dokularında EC_{normal} değerleri

$R_{tuz2\ ve}$ $R_{kont.2}$: tuz stresi kontrol dokularında EC_{-20^oC} değerleri

Osmotik Potansiyel

- Donma Noktası Osmometresi ile yapraklarda “osmotik potansiyel” ölçülebilir (**– Mpa**).

- Osmometre, çözelti içerisindeki madde miktarına göre ölçüm yapmaktadır. Strese **tolerant** genotiplerin “osmotik düzenleme” ile hücre içerisindeki madde miktarını artırmaları ve osmotik potansiyeli düşürmeleri beklenmektedir.

Su Potansiyeli

- Tuz stresiyle ***fizyolojik kuraklık*** stresine giren bitkilerin yaprak su durumunun belirlenmesi bir “tarama” parametresi olabilir. Basınç çemberi (odacığı) ile yapraklarda “su potansiyeli” ölçülebilir (– Mpa).

Stoma Geçirgenliği ($mol\ H_2O\ m^{-2}\ s^{-1}$)

- Stres altındaki bitkiler su kaybını önlemek için stomaları kapatabilirler, ancak bu kapanma mesofil hücrelerine CO_2 girişini de engellediği için bitkide net fotosentez oranı düşebilmektedir. Porometre cihazı ile yapraklarda belli bir sürede belli bir alanda buharlaşan su miktarı ölçülerek, stomaların direnci hakkında bilgilere ulaşılabilir.

Porometre; stomalardan giren su buharı miktarını ölçerek, stres altındaki bitkinin yaprağındaki stoma açıklığı/geçirgenliği hakkında bilgi veriyor

- Tuzluluğa tolerans, **farklı adaptasyon mekanizmalarının** söz konusu olabileceği **kompleks bir karakterdir**. Ayrıca genetik kalıtımı da çok gen ile kontrol edilen, kompleks bir yapıya sahiptir.

- Bir türün tuzluluğa toleransı için kullanılan *"tarama parametreleri"* diğer bir türde çalışmayabilir.

- Bu nedenle tuzluluğa dayanıklılık için tarama/seleksiyon çalışmaları yaparken o "türe özel tolerans parametreleri" nin belirlenmesi gerekebilir.

BİTKİLERDE KURAKLIK STRESİ

Kuraklık, aslında meterolojik bir terimdir. Su eksikliği stresi ile eş anlamlı kullanılmaktadır.

Yeşil bitkilerin çoğunda yaş ağırlığın % 85-90'ı sudur.

Bitkilerde belli bir süre içerisinde yitirilen su miktarı, çevreden sağlanan su miktarından fazla olması durumunda stres ortaya çıkmaktadır.

- Bitkiler suyu osmotik kurallara bağlı olarak almaktadır.

- Bitkinin kök ucundan suyun alımı, tepe uç noktasına kadar taşınımı ve yapraklardan buhar şeklinde yitirilmesinde su potansiyel gradienti büyük önem taşır.

Su potansiyeli (- Bar)

$$\Psi_w = \Psi_{os} + \Psi_{tu}$$

- Ψ_w = su potansiyeli
- Ψ_{os} = osmotik potansiyel
- Ψ_{tu} = turgor potansiyeli

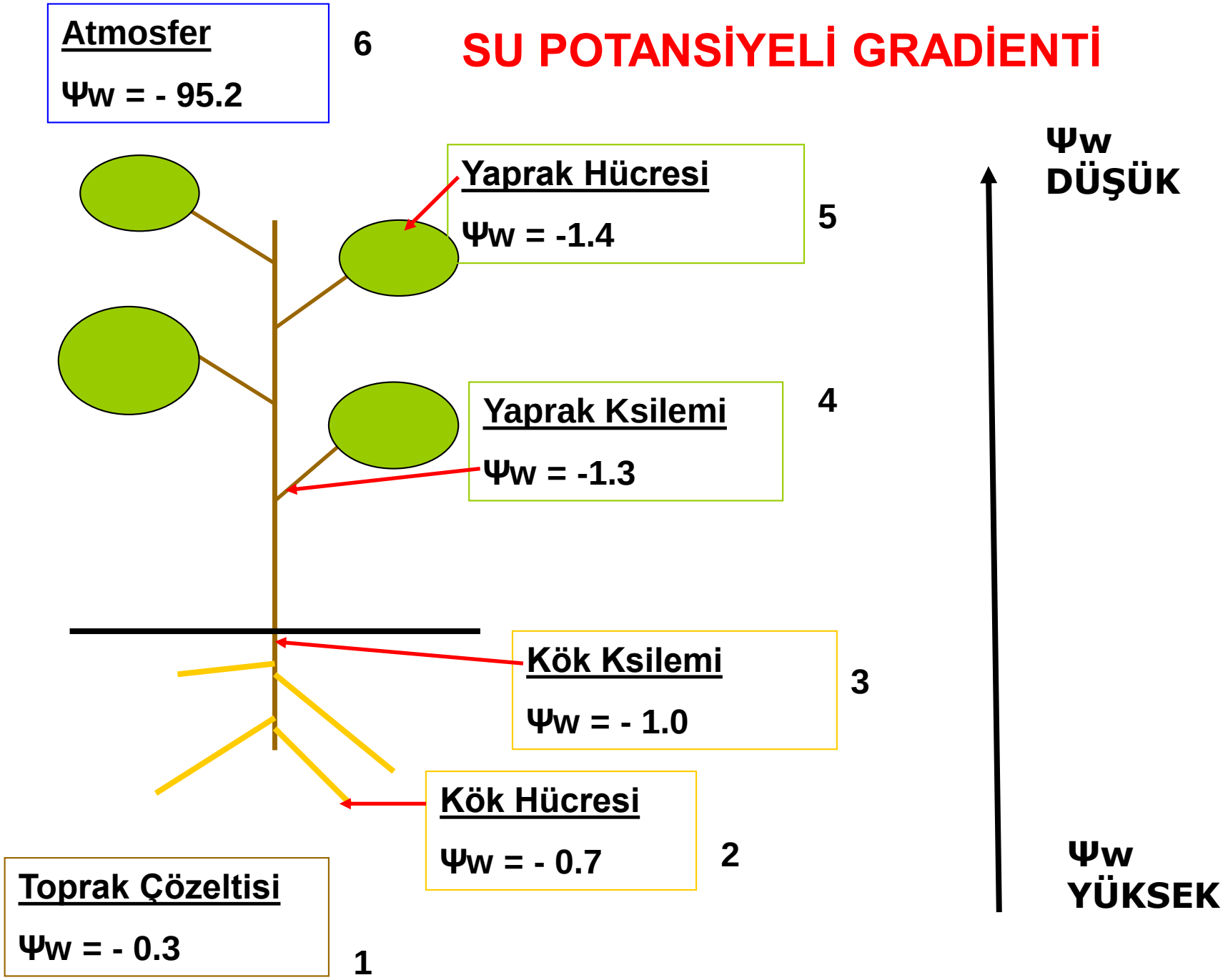
- Çözeltideki madde miktarı artıkça su molekülleri bağlanmaktadır ve aktif su molekülleri azaldığı için su potansiyeli düşmektedir, negatif işaretli olan potansiyel rakamı büyümektedir.

- Suyun hareketi, yüksek su potansiyelinden düşük su potansiyeline doğrudur.

- Normal koşullarda, kök çevresinde yüksek su potansiyeli ve kök hücresinde ise düşük su potansiyeli olduğundan hücreye su girişi gerçekleşmektedir.

- Bitki içinde kökten yapraklara suyun taşınması, farklı organlardaki su potansiyel gradienti sayesinde gerçekleşmektedir.

SU POTANSİYELİ GRADİENTİ



Bitkinin normal gelişme ve büyümesi, nitelikle ve bol bir ürün vermesi için toprak çözeltisinde su potansiyelinin bitki hücrelerinin su potansiyelinden daima büyük olması gerekmektedir.

Toprak çözeltisinde düşük su potansiyeli nedenleri;

1. Toprak porları arasında su molekülleri miktarının azalması ve azalan suyun toprak parçacıkları tarafından daha sıkı tutulması (mutlak su azlığı) sonucu düşük su potansiyeli,

2. Tuzlu topraklarda olduğu gibi çözünmüş tuz konsantrasyonuna bağlı olarak toprak çözeltisi su potansiyelinin, kök hücresi su potansiyelinden daha az olması ve bitkiye su girişinin azalması (su var ancak bitki zor alıyor ***fizyolojik kuraklık*** söz konusu)

Kök hücresi su potansiyeli toprak çözeltisinin su potansiyelinden daha yüksek kalması durumunda ise kök hücrelerinden su çıkışı gerçekleşebilir,ve bitki ileri solgunluk sonucu ölebilir.

Bitkinin transpirasyon ile yitirdiği su miktarı aldığı su miktarından fazla olması durumunda, bitki organları arasında su alabilmek için rekabet başlar ve bitkinin farklı organları arasındaki *su potansiyeli gradienti* bozulur ve bitki su eksikliği stresine girer.

Su eksikliği stresinde bitkilerde saptanan fizyolojik değişiklikler

- Büyüme durumu (-)
- Hücre duvarı sentezi (-)
- Protein sentezi (-)
- Klorofil sentezi (-)
- Tohum çimlenmesi (-)
- Stoma açılması (-)
- Fotosentez (-)
- Solunum (-)
- Ksilem iletkenliği (-)
- Absizik asit sentezi (+)
- Çözülebilir organik bileşiklerin (prolin, şekerler vb.) ve bazı minerallerin birikimi (+)

Su eksikliği stresinde bitkiler nasıl adaptasyon mekanizması geliştiriyorlar ?

- Yaprak eni ve boyu azalıyor, yaprak küçültülüyor
- Yaprak kıvrılması ile alan daraltılıyor
- Birim yaprak alanında mesofil hücreleri küçültülerek sayıları artırılıyor böylece su kullanma randımanı artırılmaya çalışılıyor, CO_2 özümlemesi korunuyor.

- Bitkide turgor halinin korunması için hücre (kök, yaprak) içinde çözülebilir katı madde (mineralller ve organik çözülebilir moleküller) birikimi yapılarak, osmotik potansiyel düşürülüyor **(osmoregülasyon).**

- Su stresi altındaki bir bitkide osmoregülasyon ile yaprak su potansiyeli düşük tutularak turgor hali korunduğunda stoma geçirgenliğinin devamı sağlanabilmekte ve Fotosentez korunabiliyor.

- Genç büyüme uçları (apex) osmotik düzenlemede yaşlı yapraklara göre daha başarılı olmaktadır.

- ABA (Absizik Asit) içeriği stres altındaki bitkinin bütün organlarında artırılıyor. ABA stomaların açılıp kapanmasını iyi kontrol ediyor. Vegetatif büyümeyi azaltarak, bitkinin enerjisini generatif büyümeye yönlendiriyor.

Kuraklığa dayanıklı genotiplerin seçimi,

- Kuraklığa dayanıklılık çalışmalarında, aynı tür içerisindeki genetik çeşitlilikten faydalanarak “tarama” çalışmaları yapılabilir.

- Erken bitki gelişme aşamasında, toprak veya subtsrtat yetiştirme ortamlarında çeşitli parametreler incelenerek genotip “taraması” gerçekleştirilebilir.

Su eksikliği stresine dayanıklı/tolerant genotip seçiminde kullanılacak tarama parametreleri

Nisbi Büyüme Oranı (RGR) (g/gün) =

(stres süresi sonunda ağırlık - stres öncesi ağırlık) / stres süresi

Kuru Madde Stres Indeksi veya Kuraklık Etkinliği (%) =

(stres uygulamasındaki KM / kontrol koşullarındaki KM) x 100

Su Kullanma Randımanı veya Etkinliği (WUE)

$$\frac{\text{Bitkinin ürettiği kuru madde miktarı (g)}}{\text{Bitkinin kullandığı su miktarı (L)}}$$

- **İnorganik osmoregülator olarak K^+ miktarı**
- **Organik Osmoregülartör'den prolin, citrulline, sakkaroz, glisin betain, vb.**
- **Yaprak Oransal Su İçeriği**
- **Osmometre ile osmotik potansiyel**
- **Basınç çembere ile su potansiyeli**
- **Porometre ile stoma geçirgenliği**
- **ABA miktarı**

TEŞEKKÜRLER