

## BİTKİLERDE FİTOKROM SİSTEMİ

Prof. Dr. Yusuf VARDAR, Ass. Avni GÜVEN ve Dr. Münir AHMET

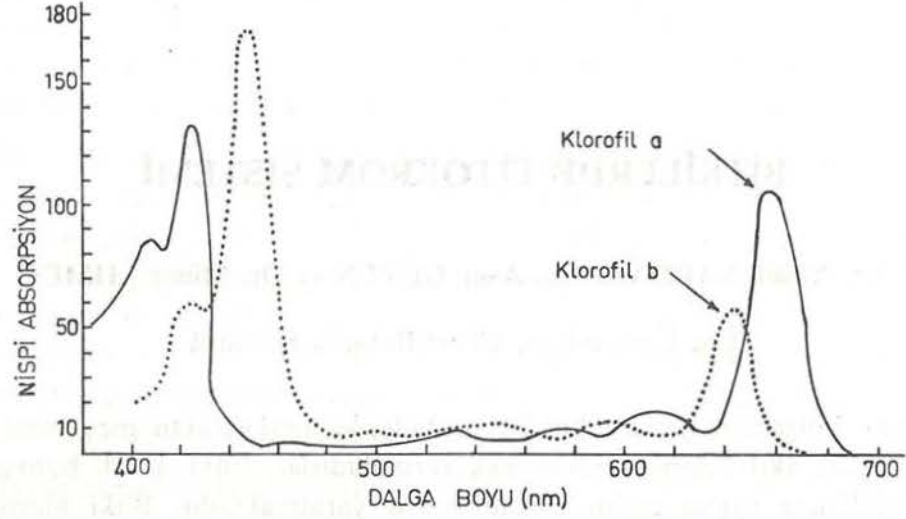
Ege Üniversitesi, Genel Botanik Kürsüsü

Ilıman bölgelerde yetişen bitkiler, o bölgede mevcut olan mevsimsel değişikliklere göre aktivitelerini düzenlemek zorundadırlar. Bitki, kendi bünyesinde, bu değişikliklere uygun çeşitli mekanizmalar yaratmaktadır. Bitki bünyesinde oluşan bu mekanizmalardan, en önemlilerinden biri de, özel bir pigment sistemi olarak tanımlanan «fitokrom»dur.

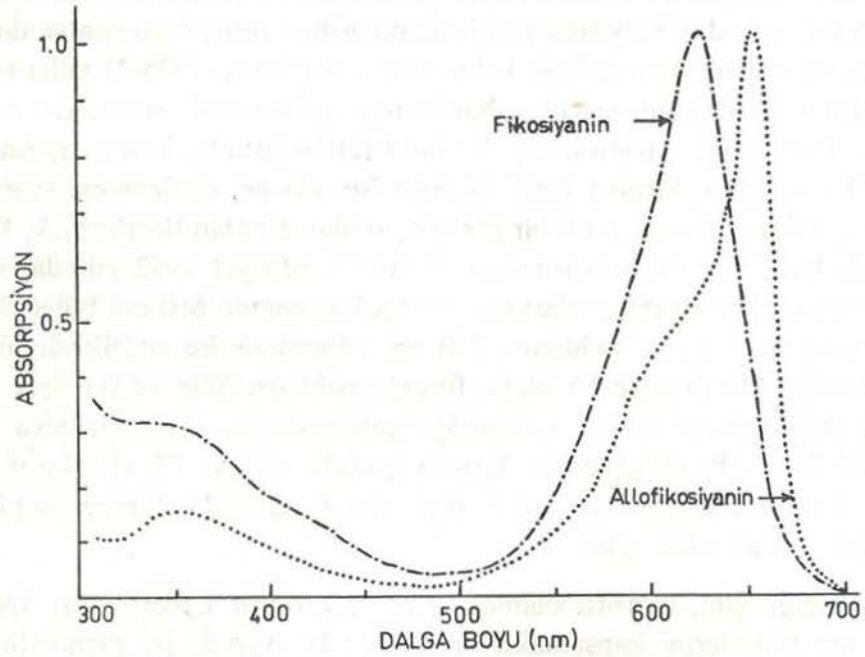
Fitokromun tarihçesine kısaca bir göz atacak olursak, kolayca şu husus anlaşılır: Fotobiyolojide en dikkati çekici keşiflerden biri, bitki büyüme olaylarında kırmızı ışık tarafından meydana getirilen etkilerin, kırmızı ötesi ışınlar tarafından tersine çevrilmesi olayının olduğu kabul edilir. Bu husus, 1935-37 yıllarında Flint ve McAlister tarafından marul tohumlarının çimlenmesi esnasında müşahade edilmiştir (Şekil : 1). Araştırmacılar, bu bitki tohumlarında, kırmızı ışığın çimlenmeyi hızlandırdığını, kırmızı ötesi ışınların ise, aksine, çimlenmeyi engellediğini ortaya koydular. Konuyu geniş bir görüş açısından ele alan Borthwick, Hendrick ve arkadaşları 25 yıllık araştırmaları sonunda, nihayet 1952 yılında, özel ışık spektrumlarına dayalı çalışmaları ile, ışık spektrumunun 660 nm bölgesinde çimlenmenin en fazla teşvik edildiğini, 730 nm bölgesinde ise engellendiğini ortaya koymuşlardır. Araştırmacılar bu olayı, fotoreversibl özellikte ve iki tipte olabilen bir pigmentin mevcudiyetiyle açıklamaya çalışmışlardır. Araştırmacılarca pigmentin bu iki tipine; Pr (fitokromun kırmızı ışıktaki tipi) ve Pfr (fitokromun uzak kırmızı ışıktaki tipi) adları verilmiştir. Bu halde de, iki tipte olabilen bu pigmentin ne olduğu sorusu akla gelir.

—Bilindiği gibi, klorofil olamaz. Zira, klorofilin absorpsiyon spektrumu 430-660 nm bölgelerini kapsamaktadır (Şekil : 2). Ayrıca, bu pigmentin izolasyonu için yapılan çalışmalarda daima etiole bitkilerin kullanılmış olması, klorofil olamayacağını kesinlikle ortaya koyar.

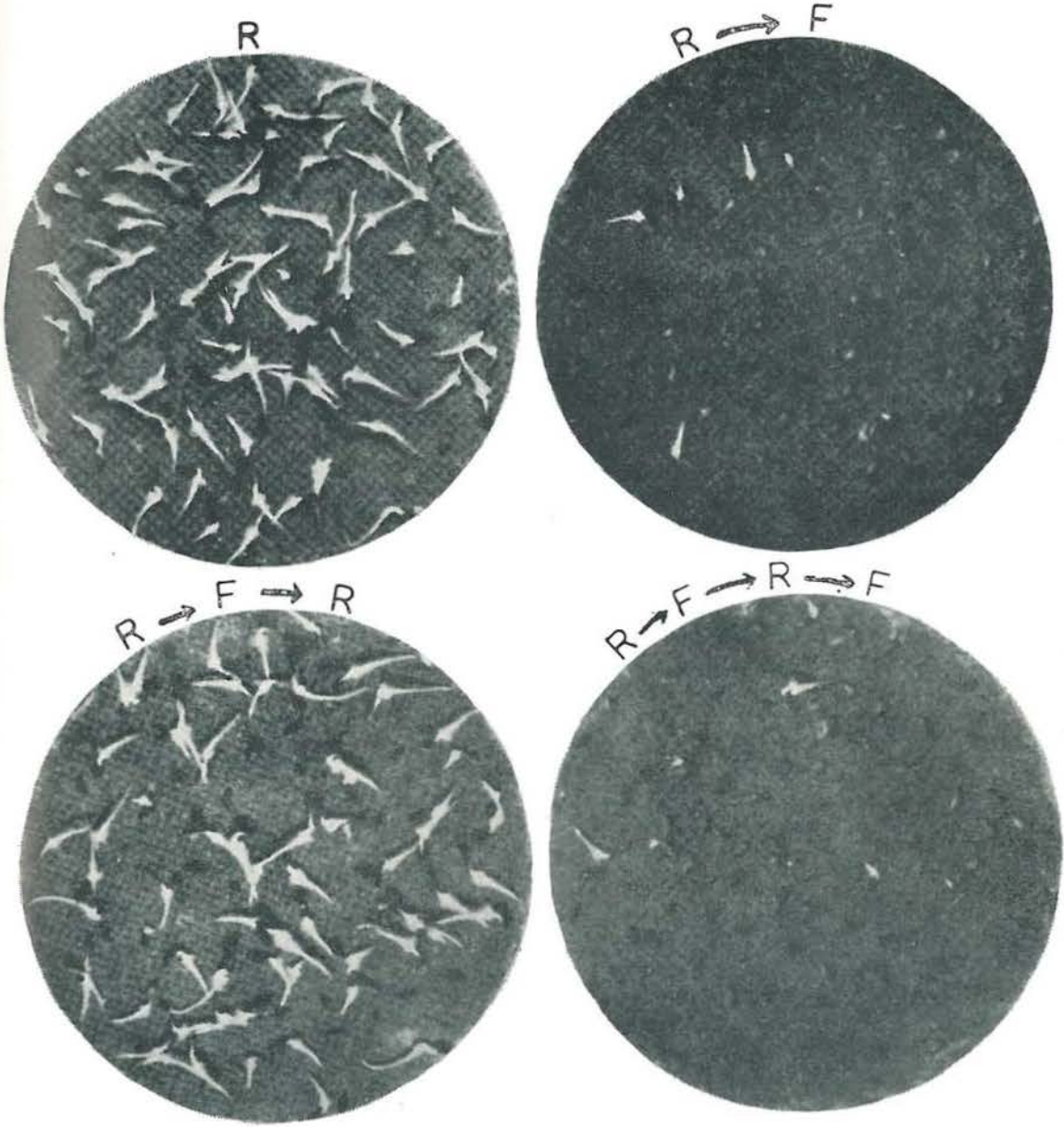
—Fikobilin olmasına da imkân yoktur. Çünkü, bu pigmentte, fikobilinin spektrumunda mevcut olan soret-pik yoktur (Şekil : 3, 4a ve b).



Şekil 2 : Klorofil a ve b'nin absorpsiyon spektrumu.



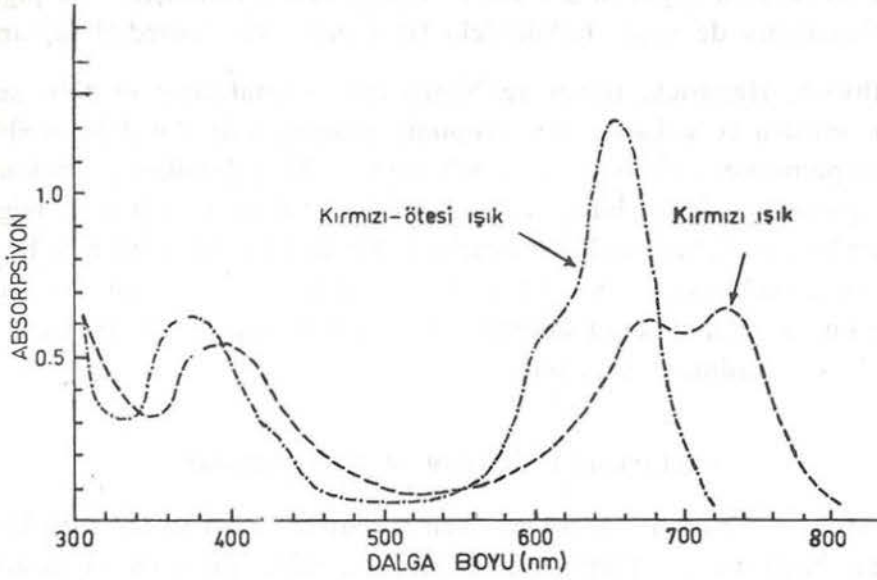
Şekil 3 : Fikobilinlerden, Fikosiyanin ve Allofikosiyanin'in absorpsiyon spektrumu (Siegelman ve ark., 1966'dan).



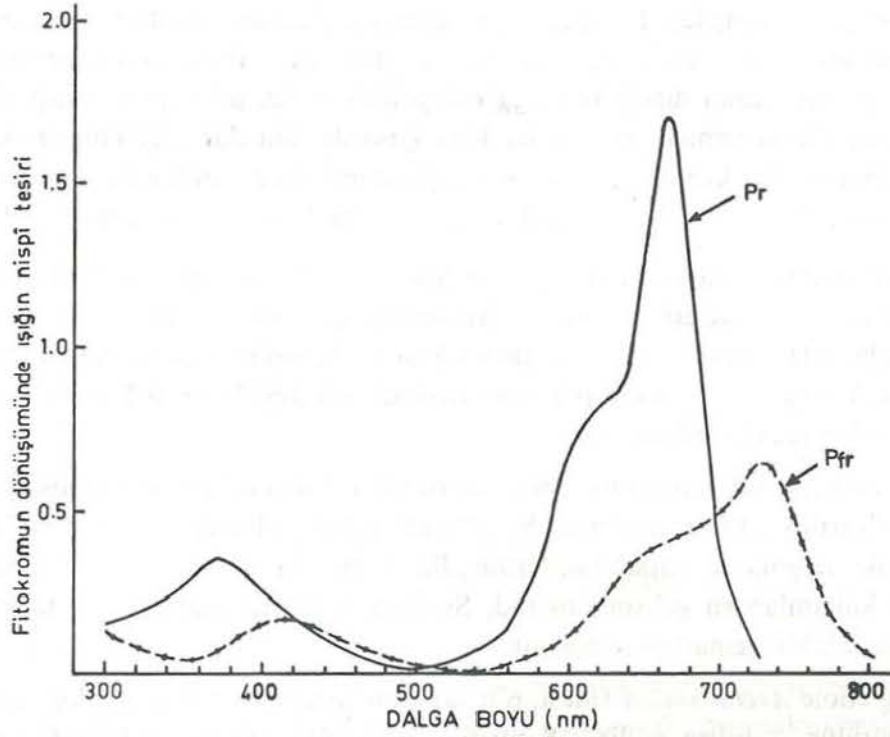
Şekil 1 : Marul tohumlarının çimlenmesi üzerine kırmızı (R) ve kırmızı-ötesi (F) ışığın tesiri. Çimlenmenin, kırmızı ışık tarafından teşviki yanında, kırmızı-ötesi tarafından engellendiği açıkça görülmektedir.



Pek çok araştırıcı tarafından yapılan çalışmalar ve araştırmalar sonunda, bu pigmentin bitkilerin kök, hipokotil, kotiledon, koleoptil, gövde, petiol, lamina, vegetatif ve reproduktif tomurcukları ile gelişmiş meyvalarında bulunduğu açıkça



Şekil 4 : a-Fitokromun absorpsiyon spektrumu (Siegelman ve Butler, 1965'den).



Şekil 4 : b-Fitokromun etkenlik spektrumu (Siegelman ve Butler, 1965'den).

ortaya konmuştur (Butler, 1959; Hillman, 1964, v.b.). Diğer yandan, araştırmacılara göre, *Aspergillus*, *Fusarium* gibi mantar türleri ile pek çok mikroorganizmalar üzerinde yapılan araştırmalar sonunda da, Psr (Fitokroma benzer bir pigment) adı verilen bir pigment sisteminin varlığı ileri sürülmüştür. Bu pigmentin ışımsal etkenliğinin de yeşil bitkilerdeki fitokroma çok benzediği saptanmıştır.

Borthwick, Hendrick, Butler ve Norris (1965) tarafından *in vitro* şartlarda meydana getirilen ve yukarıda bahsettiğimiz pigmentin *in vivo* daki özelliklerine sahip olan pigmente, «f i t o k r o m» adı verildi. Bitki dokularında çok az miktarda bulunması sebebiyle, bugün dahi, bu pigment hakkında tam bir bilgiye sahip değiliz. Burada şu hususu da belirtmek gerekir ki, bu pigmentin keşfi; bu alanda Fiziko-kimya, Biokimya ve Botanik dallarında çalışan araştırmacıları bir araya getirmiş ve bu çalışma, bilimsel koordinasyonun mükemmel bir örneğinin ortaya çıkmasında da yardımcı olmuştur.

### Fitokromun İzolasyonu ve Saflaştırılması

Fitokrom pigmentinin izolasyonu çalışmalarına, 15 yıl kadar önce Hendrick tarafından başlanmıştır. Pigmentin izolasyonu için, proteinlerin ekstraksiyonunda kullanılan metodlardan faydalanılmıştır. Zira, fitokromun bazı özelliklerinin araştırılması göstermiştir ki, bu pigment, kromofirik gruba sahip bir protein yani kromo-proteindir. İlk araştırmalarda, fitokromun protein olarak izolasyonu başarılı olmuştur. Fakat, protein olarak izolasyonu takiben, bu pigmentin saflaştırılması işi çok uzun çalışmaları gerektirmiştir. Bitki dokularından fitokrom kromatoforunun direkt olarak izolasyonu için ise, pigment kimyasında kullanılan metodlarla yapılan çalışmalar halâ başarılı sonuçlar vermemiştir. Hemen ilâve edelim ki, bu kromatofor bir safra pigmenti olup, «Biltriene» sınıfına ait bir bileşiktir. Ayrıca, c fikosiyanın kromatoforuna da çok benzediği anlaşılmıştır.

Fitokromun izolasyonu ve saflaştırılması çalışmalarında, spektrofotometrik metodlar ile etiole fidelerin kullanılmaları önemli olmuştur. Ekstre edilen fitokrom miktarında, pH büyük bir önem taşımaktadır. Meselâ; maksimum miktardaki fitokrom, 7.3 ve daha yüksek pH derecelerinde, en düşük ise, 6.2 ve daha düşük pH derecelerinde elde edilmiştir.

Fitokromun saflaştırılması çalışmaları, en iyi şekilde etiole monokotil fidelelerinde başarılı sonuçlar vermiştir. Siegelman ve Firer (1964), *Avena sativa*'da çok başarılı bir uygulama yapabilmişlerdir. Bu pigmentin izolasyonu ve saflaştırılmasında kullanılan en gelişmiş metod, Siegelman ve Hendrick (1965) tarafından aşağıdaki şekilde şematize edilmiştir:

6 kg etiole *Avena sativa* fidesi, 6 lt tampon çözelti ve 300 gr selüloz ilâve edilerek öğütülür. —Filtre edilir— Santrifüje edilir (25 dakika) — Ultrafiltrasyona tabi tutulur — Santrifüje edilir (20 dakika) — %7'lik agar ile Gel-filtrasyonuna



tabi tutulur —Ca PO<sub>4</sub> kolon kromatografisi tatbik edilir — Ultrafiltrasyon—Gel-filtrasyon — Ca PO<sub>4</sub> kolon kromatografisi — 0.5 M. Satüre (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile çökeltilir — Santrifüje edilir (10 dakika) — 0.5 M. sakkarozlu 20 ml. tampon çözelti içinde eritilir—Santrifüje edilir (15 dakika) — Fitokrom (—15°C'ta muhafaza edilir).

Bütün çalışmalar yeşil ışık altında sürdürülmüştür. Metotta bahsedilen ultra ve Gel-filtrasyon ile Ca PO<sub>4</sub> kolon kromatografisi kademelerinin önemi şu şekilde özetlenebilir:

1. Ultra ve Gel-filtrasyon, sefadeks ve agar kolonları üzerinde, proteinleri molekül büyüklüklerine göre ayırmaktadır.

2. Ca PO<sub>4</sub> kolon kromatografisi ve iyon mübadele metodları ise, proteinleri iyon durumlarına göre ayırma tabi tutmaktadır. Bu metotta her iki özelliğten de yararlanılmıştır.

Fitokrom; *Avena sativa* (Siegelman ve Hendrick, 1965), *Spinacea oleracea* (Lane, 1963), *Mesotaenium* ve *Spherocarpus* (Taylor ve Bonner, 1967), *Sinapis arvensis*, *Cucurbita*, *Spirodella*, v.b. gibi pek çok bitkiden izole edilmiş ve saflaştırılmıştır. Bu örneklerden, özellikle *Spirodella* üzerinde yapılan son araştırmalar, bu bitkinin yeşillenmesinde P<sub>730</sub> 'un bir anahtar rolü oynadığını ortaya koymuştur.

Her türlü imkânın mevcudiyeti halinde, fitokrom, etiole fidelerde 2 saatlik bir süre içinde gözle görülebilir. Bunun için, 100 gr. fide ekstraktı dikalsiyum fosfat kolonu üzerinde kromatografiye tabi tutulursa; fitokrom, kolonda dar mavi-yeşil bir band halinde görülecektir. Bu bandı kırmızı ötesi ile muamele edersek, mavi renk çok yükselir. Halbuki, kırmızı ışık ile muamele edersek, mavi renkte bir düşme görülür.

### İki tip fitokrom oluşumundaki ara kademeler

Daha evvel, araştırmacılarca, fitokrom reaksiyonu basit olarak şöyle ifade edilmekte idi :

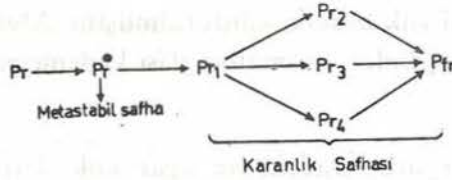


Pr; glutaraldehit, formaldehit, asetaldehite karşı, Pfr'den daha fazla labildir. Ayrıca, enzim tabiatında olmayan bisülfid gibi maddeler, Pr'yi Pfr'den daha fazla parçalayabilmektedir.

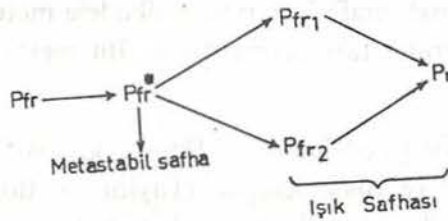
Leinschitz (1966) flaş spektrofotometrik metodla, Kendrick ve Spruit (1972) ise flaş spektrofotometrik metod ve düşük ısı kullanarak, bu reaksiyonda birçok ara kademeler bulunduğunu ortaya koymuşlardır. Leinschitz, Pr ve Pfr halinde

olan fitokromu, yüksek şiddette flaş lâmbalarıyla  $5 \times 10^{-6}$  saniye süre ile ışıklandırmış ve müteakip absorpsiyonların etkinlik spektrumlarını, spektrofotometreye bağlı olan Ossiloskop ile incelemiştir.

Pr için bu ara kademeler şöyledir:



Pfr için ise :



Ancak, derhal ilâve edelim ki; her iki grubun ara kademelerinde meydana gelen moleküler değişiklikler halen bilinmemektedir.

### Fitokromun özellikleri

Fitokromun birçok özellikleri, spektrofotometre ile tayin edilmiştir. Bu pigmentin esas itibarıyla mavi-yeşil «biliprotein» olduğu kabul edilir. Moleküler ağırlığının 90.000-150.000 arasında olduğu gösterilmiştir. Yalnız, Munford ve Cenny (1966), fitokromun molekül ağırlığını 60.000 olarak tespit etmişlerdir. Gardner (1971) ise, 60.000 mol ağırlığındaki bu fitokrom formunun, proteolizis esnasında, proteaz etkisi ile meydana geldiğini ileri sürmüştür. Cundiff ve Pratt (1972) ise, immüno-elektroforez denemeleri ile bu görüşe katılmıştır. Halbuki Briggs (1972), 120.000 mol ağırlığında bir fitokrom elde ettiğini zikretmiştir.

Kuvvetli asit, baz, üre ve proteolitik enzimler, fitokromu bozmakta ve foto-reversibilitesini kaybettirmektedirler. Tri-kloroasetik asit ile bozulan fitokrom, mavi renkte, erimeyen bir madde meydana getirmekte ve bu madde, 630 nm bölgesinde maksimum absorpsiyon göstermektedir. Fitokromun bozulmaya karşı hassasiyeti, tipine bağlıdır. Pfr, Pr'ye nazaran üre ve proteolitik enzimlere karşı daha çok hassastır.

Etiol mısır fidelerinde fitokromun «de novo» (yeniden) sentezine bakacak olursak; bu bitkideki pigment miktarının 8 gün içinde lineer olarak arttığı görülür. Soya fasulyesinde ise, pigment miktarı 5 gün içinde maksimuma erişir ve bunu



takip eden 5 gün içinde ise, lineer bir düşüş gösterir. Etirole fidelerde, etiole olmayanlara nazaran, fitokrom miktarının daha fazla olduğu saptanmıştır. Bu farkın hangi faktörlerden ileri geldiği, bugün halâ kesinlikle bilinmemektedir. Derhal ifade edelim ki; yeşil bitkilerde fitokromun ölçülmesi, etiole bitkilerdekine nazaran, bize çok daha iyi bir fikir verebilecek nitelikte bir husustur (Butler, 1965). Ancak, yeşil bitkilerde bu pigmentin ölçülebilmesi için çok hassas bir spektrofotometre gerekmektedir.

Fitokromun özelliklerini tayin için yapılan bütün çabalara rağmen, *in vivo* ve *in vitro* araştırmalarda, şu sorular halâ cevapsız kalmaktadır:

1. Kırmızı ve kırmızı ötesi ışığa karşı bazı bitkiler cevap verdiği halde, bunlarda fitokromun bulunamamış olmasının sebebi nedir?
2. Bir objede, fitokrom, Pr tipinden Pfr tipine tamamen dönüştüğü zaman bile, o objede kırmızı ışığa karşı hassasiyet kaybolmamaktadır.

Bu ilk sorunun cevapsız kalışının, teknik yetersizliklerden ileri geldiği, diğerinin ise, bütün fitokromun aktif olmamasından ve bir kısmının bitkide kalmış olmasından ileri gelebileceği savunulmaktadır.

#### Fitokromun etki yolu

Fitokrom, tohum çimlenmesinden çiçeklenmeye kadar bitkinin bütün büyüme kademe ve reaksiyonlarında rol oynamaktadır. Bütün bitkiler âleminde fitokromun var ve bu pigmentin bütün bitkilerde benzer şekilde olduğu kabul edilirse; onun, tek primer bir tesire sahip olması gerektiği ifade edilir. Başlangıçta bu tesirin, fitokromun genetik yapıyı baskı altında tutmasıyla meydana geldiği kabul edilmişti. Bunun sebebi olarak, protein ve RNA sentezlerini inhibe eden kloramfenikol, aktinomisin-D ve puromisin gibi inhibitörlerin, fitokromdan ileri gelen morfogenetik değişiklikleri de inhibe etmesi gösterilmiştir. Yalnız, fitokrom üzerindeki bu tesirin indirekt olduğunu kesin olarak belirtmekte yarar vardır. Fakat, bu pigmentin rol oynadığı olaylarda alınan cevaplar o kadar süratle meydana gelmektedir ki, bu nedenle, etkinin çok yavaş cereyan eden RNA ve protein sentezleri içinde cereyan etmesi düşünülemez.

Bugün için, fitokromun en geçerli tesir yolu, hücre permeabilitesinin elektrokimyasal gradientleri üzerinde olduğu görüşüdür. Nitekim Haupt (1965), *Mougeotia*'da, fitokromu hücre membranında bulmuştur. Halbuki, önceleri Galston (1968) tarafından, bu pigmentin nukleus membranında bulunduğu dair ortaya atıldığı görüş, esas kabul edilmekteydi. Pratt (1971) ise, bu pigmentin dokuda bulunduğunu immüno-kimyasal testlerle ortaya koyduysa da, kesin olarak dokunun neresinde bulunduğunun bilinmediğini belirtmiştir. Marme ve arkadaşlarının mısır koleoptilleri üzerinde yaptıkları ve yayınlanmamış olan deneysel sonuçlarına göre; bu pigmentin nukleus, mitokondrium veya plastidlerde değil, hücre membranında lokalize olduğu kabul edilmektedir.



Fitokromun tesirleri, ya lokalize olduğu bölgede kalır veya diğer bölgelere taşınabilir. Meselâ; *Mougeotia*'nın herhangi bir noktasına tatbik edilen bir mikro ışın, o noktada bulunan kloroplastta bir hareket meydana gelmesine sebep olur. Diğer taraftan, kırmızı ışığa maruz bırakılan bir bitkiden alınan bir dal, bu tür ışığa maruz kalmamış bir bitkiye aşılanırsa; bu bitkide çiçeklenmeye sebep olabilmektedir. De Geerf (1971)'e göre, fitokromun rolü belli bir bölgeye has olmayıp, genetiksel olayların tümünde etken bir anahtar durumundadır.

### Fitokromun etkilediği fizyolojik olaylar

Daha önce de belirttiğimiz gibi, fitokrom bitki büyüme ve gelişmesinin birçok safhalarına etki etmektedir. Dawns (1955, 1960, 1967) ve diğer birçok araştırmacılar, kırmızı ışığın hipokotil uzunluğunu indirgediğini, yapraklarda yüzeyi arttırdığını, plumula çengelinin açılmasına yardım ettiğini ve internodyum uzunluğunu kontrol ettiğini göstermişlerdir. Kırmızı ışık, plumula çengelinin açılmasını, kırmızı ötesi ise kapanmasını teşvik etmektedir. Fakat, plumula çengeline etilen tatbiki, kırmızı ışık ile teşvik edilen açılma olayını engellemektedir. Şu halde, kırmızı ışık, plumula çengeline mevcut olan endogen etilen miktarında bir düşüş meydana getirerek çengelin açılmasını sağlamaktadır diye düşünen bilimciler vardır. Diğer taraftan, marulda bu olaya ilişkin çok anormal cevaplar alınmıştır. Karanlıkta, bu bitkinin plumula çengeli yarı açık durumda görülmekte, kırmızı ışık verildiğinde tamamen kapanmaktadır. Müteakiben, devamlı olarak kırmızı ötesi ve mavi ışık tatbiki ise, 24 saat sonra çengelin açılmasını sağlamaktadır. Piringer ve Heinze (1954), domateslerdeki kütikulanın kırmızı oluşunun fitokroma bağlı biokimyasal bir sentez olayı olduğunu göstermişlerdir. Yine elmalarda antosiyan meydana gelişinin, fitokrom kontrolü altında olduğu Dawns (1965) tarafından ortaya konmuştur. *Brassica rapa*'da, 24 saat süre ile tatbik edilen 730 nm lik irradiyasyon, gerek antosiyan, gerekse klorofil-a sentezini sağlamaktadır. Diğer yandan, *Petunia* petallerinde kırmızı ve beyaz ışıkta, antosiyanin bileşiminde hiçbir değişim olmamaktadır. *Daucus*'ta ise, antosiyan sentezi, kırmızı değil de, mavi ve kırmızı ötesi tipindeki pigment tarafından düzenlenmektedir. Fakat, kırmızı ışık ile birlikte, 2-4- diklorofenoksiasetik asit tatbiki, bitkide antosiyan miktarını yükseltmektedir. Haupt (1959), *Mesotaenium*'daki kloroplast hareketinin fitokroma bağlı olduğunu göstermiştir. Bu hareket, muameleden 10 dakika sonra gözükmekte ve 30 dakikada tamamlanmaktadır. Diğer yandan Seitz (1971), *Vallisneria* kloroplast hareketinde fitokromun rolü olduğunu belirtmiştir. Burada özel olarak işaret etmek isteriz ki, araştırmacılarca mavi ışığın da kloroplast hareketini teşvik ettiğine dair sonuçlar elde edilmiştir. Haupt (1971)'a göre; bu olayda bilinmeyen sarı renkli bir pigment rol oynamaktadır.

Kırmızı ve kırmızı ötesi ışığın meydana getirdiği diğer fizyolojik reaksiyonları da, RNaz aktivitesini teşvik, klorofil sentezini ve plastid gelişimini kontrol



ediş olarak özetleyebiliriz (kırmızı ışık tarafından teşvik edilen klorofil sentezi, kırmızı ötesi tarafından ya çok az veya hiç denecek derecede engellenmektedir). Öte yandan, NADP-gliseraldehit-3-fosfat ve NAD-gliseraldehit-3-fosfat aktiviteleri fotosenteze bağlı olmayıp, fitokrom tarafından kontrol edilmektedir. Kısa süreli kırmızı ötesi, *Marchantia*'da hücre uzamasını, plastidlerin akümülyasyonunu, fotosentetik dokuların etiolasyonunu, yaşlanmayı ve ortotrofik tallus büyümesini teşvik etmesine rağmen, kırmızı ışık bütün bu olayları zıt yönde etkilemektedir. Ayrıca, bu pigment; amilaz aktivitesini teşvik, PAL (Fenilalanin ammonialaz) aktivitesini ise kontrol etmektedir. Bazı araştırmacılar ise, PAL maksimum aktivitesinin mavi ışıkta olduğunu gözlemişlerdir (Fitokrom ve PAL ölçmeleri, biyolojik ritimlere bir ışık tutabilir). Niktinastinin kontrolünde da fitokromun rolü büyüktür (Yaprakçıkların hareketi, açılma-kapanma gibi bir ossilasyona bağlı olup, bu mekanizmanın kilit noktası, fitokromun bulunduğu membrandır). Bazı araştırmacılara göre, *Phaseolus*'taki yaprakların aşağı doğru düşüş hareketi, fitokrom kontrolünde değildir (Aimi, 1972). Kısa süreli kırmızı ışık, total lipid artışı teşvik ettiği, *Lemna minor* frondunun meydana gelişini kontrol ettiği gibi, stoma açılıp-kapanma mekanizmasında da muhtemelen rol oynamaktadır. ADP-ATP esterifikasyonunu kırmızı ışık arttırmakta, kırmızı ötesi ise azaltmaktadır. Diğer yandan, Fitokromun *Frebouxia* likeninde aplanosporların meydana gelişine tesir ettiği gösterilmiştir (Giles, 1970). Bütün bunlardan başka, hormonlardan gibberellik asit ve absissik asitin sentezinin de fitokroma bağlı olduğuna dair raporlar vardır. Carr (1968), kırmızı ışığa maruz bırakılan yapraklarda, 30 dakika sonunda gibberellin meydana geldiğini göstermiştir. Buna mukabil, Black (1971)'e göre, gibberellinin fitokromla bir ilişkisi yoktur.

### Fitokromun ekolojik önemi

Fitokromun ekolojik önemi, verim denemelerinden kolaylıkla anlaşılabilir. Meselâ; domates ve fasulye bitkileri yüksek dozda mavi ışığa maruz bırakılırsa, her iki bitkide de verimin çok arttığı Thomas ve Dunn (1967) tarafından müşahade edilmiştir.

Avustralya'da yapılan denemelerde, geniş bir tarlaya ekilen bitkiler, güneşin batışını müteakip kırmızı ışığa maruz bırakılırsa, verimin büyük ölçüde arttığı gösterilmiştir. Diğer bir seri deneyde ise, serada yetiştirilen tütün bitkilerine gün bitiminden sonra kırmızı ışık verilmesinin, bu şartlarda bitkide meydana gelen yaprakların, tabiatта birbirinden izole halde bulunan tütün bitkilerinin yapraklarına benzemesi; öte yandan, sera bitkilerine gün bitimini müteakip kırmızı ötesi ışık verilmesi sonucu, bitkilerde meydana gelen yaprakların ise, tabiatта çok sık ve diğer bitkiler tarafından gölgelenmiş olan tütün bitkilerinin yapraklarına benzemesi gibi çok enteresan bir sonuca varılmıştır.



Sonuç olarak, fitokromun bitkinin bütün kısımlarının büyüme ve gelişmesini kontrol etmekte olduğunu, fakat bu olaylarda hangi düzenleme mekanizması ile ve nasıl bir rol oynadığının elan kesinlikle bilinmediğini ve durumun aydınlanması için yeni araştırmalara ihtiyaç bulunduğunu söyleyebiliriz.

#### BİBLİYOGRAFYA

1. GALSTON, A. W., and DAVIES, P. J. (1970) : Control Mechanisms in Plant Development. Prentice Hall, New Jersey.
  2. MITRAKOS, K., and MARETAS, J. (1971) : European Annual Symposium on Plant Photomorphogenesis. Athens.
  3. SCHENCK, G. O. (1972) : Abstracts from VI. International Photobiology Congress. Bochum.
  4. WILKINS, M. B. (1969) : The Physiology of Plant Growth and Development. McGraw-Hill., London.
-