

## CO<sub>2</sub> Özümlemesinde C-3 ve C-4 Tipi Bitkilerde Fotosentez-Solunum Denge Noktalarının Belirlenmesi

M.TÜRK<sup>1</sup>, N. ÇELİK<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, ISPARTA.

<sup>2</sup> Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, BURSA.

**Özet:** Bilindiği gibi yüksek yapılı bitkilerin çok büyük bir bölümü fotosentezde ilk ve kararlı bileşik olarak 3 karbonlu hidrokarbonları üretirken, bir bölümü de 4 karbonlu bileşikler üretirler. Bu bitkilerin belirlenmesinde değişik yöntemler kullanılır. Bu çalışmada, C-3 ve C-4 bitkilerinde CO<sub>2</sub> denge noktası pratik ve basit pH metodu ile ölçülmüştür. Bu metod sulandırılmış NaHCO<sub>3</sub> çözeltisinin pH değerlerinin bu çözelti içinde çözünen CO<sub>2</sub> miktarına göre değişmesi ilkesine dayanmaktadır. Çözünen CO<sub>2</sub> miktarı, çözelti dengede olduğunda atmosferdeki CO<sub>2</sub>'in kısmi basıncına bağlıdır. Böylece daha düşük atmosferik CO<sub>2</sub> konsantrasyonu daha yüksek NaHCO<sub>3</sub> - pH değerini verir.

Çalışma sonucunda elde ettiğimiz veriler C-4 bitkilerinin C-3 bitkilerine göre daha düşük CO<sub>2</sub> konsantrasyonlarında fotosenteze devam ettiklerini göstermiştir. Bitkilerdeki bu farklı CO<sub>2</sub> denge noktaları C-3 ve C-4 bitkilerinin teşhisinde kullanılabilecek en önemli kriterlerden biridir.

**Anahtar Kelimeler:** C-3 bitkileri, C-4 bitkileri, CO<sub>2</sub> denge noktası, fotosentez

## Determination Of Photosynthesis-Respiration Compensation Points In C-3 And C-4 Photosynthetic Pathway Plants

**Abstract:** As known, while the most of the higher plants produce 3-carbon-acid as initial and resolute product in photosynthesis, some of them yield initial products mainly 4-carbon acids, such as malic, aspartic and oxalic. The different methods are used in determination of these plants.

In this experiment, the CO<sub>2</sub> compensation points of C-3 and C-4 plants will be measured by a pH method. The principle depends upon the fact that the pH of a dilute NaHCO<sub>3</sub> solution varies with the amount of CO<sub>2</sub> dissolved in it. The amount of dissolved CO<sub>2</sub> in turn depends upon the partial pressure of CO<sub>2</sub> in the atmosphere with which the solution is in equilibrium. Thus, lower atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations lead to higher NaHCO<sub>3</sub> pH values.

Findings from experiment showed why C-4 plants have lower CO<sub>2</sub> compensation points than do C-3 plants. Different CO<sub>2</sub> compensation points in plants are one of the most important criteria to determine C-3 and C-4 plants.

**Keywords:** C-3 plants, C-4 plants, CO<sub>2</sub> compensation points, photosynthesis.

### Giriş

Fotosentez olayı; yeşil bitkilerin CO<sub>2</sub>'i su varlığında ışık enerjisi yardımıyla özel pigment moleküllerinin katalizörlüğü altında indirgeyerek çeşitli organik maddeleri oluşturması şeklinde tanımlanabilir. Bu sistemle güneş enerjisi organik maddeler içerisinde kimyasal enerji şeklinde depo edilir. Bu şekildeki enerji dönüşümü çok kısa bir süre içinde gerçekleştirilir. Örneğin bir foton enerji kloroplast lamellerindeki pigment molekülleri tarafından alınarak 10<sup>-2</sup> veya 10<sup>-3</sup> sn içerisinde kimyasal enerjiye çevrilir. Böylece bir CO<sub>2</sub> molekülünün kloroplastlardaki kimyasal indirgenmesi 10<sup>-3</sup> sn'yi geçmez (1).

Fotosentez ile ilgili araştırmalarda bitkilerin değişik sistemlerle organik madde ürettikleri saptanmıştır. Başlangıçta, bitkilerin büyük bölümünde egemen olan üç karbonlu fotosentez sistemi keşfedilmiştir. 1960'lı yıllarda ise bazı kültür bitkilerini de içeren önemli bir bitki grubunda dört karbonlu fotosentez sistemi tespit edilmiştir. Dört karbonlu fotosentez sistemine sahip bitkilerin CO<sub>2</sub> sentezleri üç karbonlu sisteme sahip

olanlara göre daha randımanlıdır. Bu bitkiler çoğunlukla sıcak ve ılıman iklim bölgelerine adapte olmuşlardır. Tarımda, olağan dışı CO<sub>2</sub> sentezine sahip bu bitkilerden yararlanma olanakları vardır. Bitkilerde bu sistem tespit edildikten sonra bazı sorular ortaya atılmıştır. Acaba böyle bir sistem neden oluşmuş? Hangi bitkiler bu sistemi geliştirmişlerdir? İlerde başka bitkilerin bu sistemi geliştirme olasılığı var mıdır? Bu soruların cevaplandırılabilmesi için birçok çalışma yapılmış ve halen de devam etmektedir.

Bitkilerde en çok rastlanılan fotosentez sistemi 3 karbonlu sistemdir. İlk oluşan bileşik 3 karbonlu olduğu için bu sisteme 3 karbonlu sistem ve bu sistemle fotosentez yapan bitkilere de C-3 bitkileri denir. Bu bitkilere örnek olarak; buğday, arpa, pamuk, şekerpancarı, yonca, korunga vb. gösterilebilir (2, 3, 4). Üç karbonlu fotosentez sisteminde yeşil bitkinin atmosferden almış olduğu CO<sub>2</sub>, fotosentez yapan hücrede bulunan ribulon 1,5-difosfat (RuDP) ile reaksiyona girer. Reaksiyonun katalizörlüğünü RuDP karboksilaz enzimi üstlenir. Reaksiyonda 1 molekül CO<sub>2</sub> 1 molekül RuDP ile birleşerek 3 karbon atomlu 2

molekül PGA (Fosfoglisericasit) oluşur. Devam eden reaksiyonlarla PGA'nın bir kısmı fotosentezin son ürünlerine dönüşürken bir kısmı da CO<sub>2</sub>'i yakalayacak olan RuDP moleküllerini oluşturur. Bu şekilde tamamlanan Calvin-Benson çemberi, güneş enerjisi ile yönlendirilen CO<sub>2</sub> fiksasyon işlemini kendi kendine besleyen bir sistem olarak ortaya çıkar (5, 6). Fotosentezin son ürünleri karbonhidrat, amino asit ve diğer bileşikler olup bitkinin büyümede bunlara ihtiyacı vardır. Atmosfer CO<sub>2</sub>'nin fikse edilerek şekerlere dönüştürülmesi 14 tepkimeyi kapsamaktadır. Bu işlemler sırasında gerekli kimyasal enerji ATP ve NADPH formunda kullanılmıştır. C-3 tipi bitkilerde 1 molekül atmosfer CO<sub>2</sub> 'nin indirgenmesi için gerekli toplam enerji 3 ATP ve 2 NADPH'tır. ATP ve NADPH molekülleri ışık enerjisi ile suyun redüksiyonu sonucu oluşmaktadır (7, 8).

Genellikle dünyanın sıcak bölgelerindeki bitkilerin bir kısmında ortaya çıkan ve ilk oluşan bileşik 4 karbonlu olduğu için bu sisteme 4 karbonlu fotosentez sistemi adı verilen sisteme sahip bitkilere de C-4 bitkileri denir. C-4 bitkilerine örnek olarak mısır, sorgum, sudanotu, şeker kamışı, darı ve köpekdişini sayabiliriz. Bu sistemde, stoma yoluyla yaprağa giren CO<sub>2</sub>, PEP ile reaksiyona girerek 4 karbonlu oxaloacetic asit (OAA)'i oluşturur. OAA'den de yine 4 karbonlu aspartic asit ve malik asit meydana gelir. Bu olayların hepsi de mezofil hücrelerde cereyan eder. Mezofil hücrelerde oluşan malik ve aspartik asitler yaprağın iç taraflarındaki iletim demeti kını hücrelerine geçerler. Bu asitler PGA'dan farklı fonksiyonlara sahiptirler, (C) atomu kaybederek faydalı ürünlerle karbonhidratları oluştururlar. Burada, malik ve aspartik asidin parçalanmasından CO<sub>2</sub> ve 3 karbonlu pruvik asit oluşur. Açığa çıkan CO<sub>2</sub> Calvin-Benson çemberinde tekrar fiksasyona uğrar (5). Puvik asit mezofil hücrelere dönerek burada ATP'den fosfat grubunu alarak Puvate P<sub>1</sub> Dikinase enzimi katalizörliğünde PEP'i oluşturur. Oluşan PEP tekrar CO<sub>2</sub> akseptörü olarak görev yapar. PEP sisteminin gerçek görevi sadece atmosferik CO<sub>2</sub> 'i fikse etmek ve daha sonra serbest bırakmaktır. İlk bakışta bu olay amaçsız gibi görünebilir. Ancak CO<sub>2</sub> fiksasyonu ve ortaya çıkış yerleri ile RuDP tarafından ikinci fiksasyonu dikkate alınırsa sistemin önemi daha iyi anlaşılır. PEP sisteminin üstün yanı, düşük CO<sub>2</sub> konsantrasyonunda diğer RuDP sisteminden daha etkili olmasıdır. PEP sisteminin tek

## Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada C-3 bitkisi olarak yonca ve arpa, C-4 bitkisi olarak mısır ve sorgum kullanılmıştır. Bu bitkilerin sera koşullarında ekimi yapılmış ve 2 haftalık olduklarında yaprakları alınmıştır. Çalışmada ayrıca 1.10<sup>-5</sup> M NaHCO<sub>3</sub> çözeltisi, pH-metre ve 70-80 klük ışık kaynağı kullanılmıştır (11).

Geniş ağızlı 250 ml'lik erlenmayerlerin her birisinin içine 20 ml 1.0<sup>-5</sup> M NaHCO<sub>3</sub> kondu ve lastik tapa ile ağızları kapatıldı. 5 ml'lik ufak şişelere 3/4' ü dolana kadar saf su

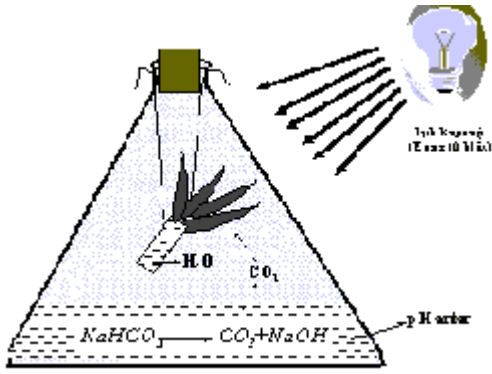
amacı CO<sub>2</sub> 'i Calvin-Benson çemberine pompalamaktır. Burada, Calvin-Benson çemberine ilave olarak mezofil hücrelerinde ortaya çıkan mekanizma CO<sub>2</sub> 'in daha etkili şekilde fiksasyonunu sağlamaktadır. C-4 tipi bitkilerde oluşan bu olaylar 9 tepkimeyi kapsamaktadır. C-4 tipi bitkilerde bir molekül atmosfer CO<sub>2</sub> 'nin şekere kadar indirgenmesi için gerekli toplam enerji de 5 ATP, 2 NADPH'dır (8, 9).

Krasulasyon asit metabolizması (CAM) diye adlandırılan üçüncü CO<sub>2</sub> özümleme tipi daha çok etli yaprak ve gövdelere sahip sukkulent bitkilerde görülür. Bu fotosentez tipi ilk olarak Crassulacea (Et yaprak) bitkisinde görüldüğü için bu isim verilmiştir. Bu tür bitkiler düşük transpirasyonun yaşamsal düzeyde gerekli olduğu kurak koşullara adapte olmuşlardır. Düşük nem koşulları altında bu bitkiler CO<sub>2</sub> absorbe etmek için gece stomalarını açar, gündüz kapatırlar. Bu yolla bitkinin transpirasyon yükünü azaltırlar. Kültür bitkisi olarak sınıflandırılan yalnızca birkaç CAM bitkisi vardır. Bunlar ananas, agavel ve dikenli armut gibi bitkilerdir (10).

Yeşil bitkiler; eğer kapalı atmosferde tutulur ve aydınlatılırsa, fotosentez sırasındaki CO<sub>2</sub> absorpsiyonu sonucunda, atmosferik CO<sub>2</sub> konsantrasyonunu neticede 340 ppm (% 0.034)'den daha düşük bir değere düşürecektir. Son değer, solunumla açığa çıkan CO<sub>2</sub>'in fotosentezde kullanılan CO<sub>2</sub>'e eşit olduğu andaki konsantrasyondur. Bu konsantrasyon dengesi CO<sub>2</sub> denge noktası olarak ifade edilir. Bu değeri etkileyen faktörler O<sub>2</sub> konsantrasyonu, sıcaklık ve ışık yoğunluğudur. Fakat aynı koşullar altında bazı türler diğerine nazaran oldukça farklı CO<sub>2</sub> denge noktası gösterirler. Yukarıda da belirtildiği gibi C-4 türleri daha düşük, C-3 türleri ise daha yüksek CO<sub>2</sub> denge noktasına sahiptirler (11).

C-3 ve C-4 bitkilerinin en önemli özelliklerinden biri olan CO<sub>2</sub> denge noktası tespit edilebilir. Bu çalışmada, C-3 ve C-4 bitkilerinde CO<sub>2</sub> denge noktası pratik ve basit "pH metodu" ile ölçülmüştür. Bu metod sulandırılmış NaHCO<sub>3</sub> çözeltisinin pH değerlerinin bu çözelti içinde çözünen CO<sub>2</sub> miktarına göre değişmesi ilkesine dayanmaktadır. Çözünen CO<sub>2</sub> miktarı, çözelti dengede olduğunda atmosferdeki CO<sub>2</sub>'in kısmi basıncına bağlıdır. Böylece daha düşük atmosferik CO<sub>2</sub> konsantrasyonu daha yüksek NaHCO<sub>3</sub>-pH değerini verir (11).

ilave edildi. Genç, sağlıklı 4 adet mısır yaprağı uç kısımlarından 7 cm kesildi ve tüp içine yerleştirildi. Aynı şekilde 4 adet arpa yaprağı da diğer şişeye kondu. Her bir şişe boğaz kısmından 15 cm uzunluğundaki ipele yada telle bağlandı. Erlenmayerlerin tıpası çıkarıldı ve NaHCO<sub>3</sub> çözeltisinin pH değerleri belirlendi. İçinde yaprak parçaları bulunan küçük tüpleri erlenmayerdeki NaHCO<sub>3</sub> çözeltisine 2,5 cm kadar yaklaştırıldı ve ipin uçları tıpa ile şişenin kenarlarından sıkıştırıldı (Şekil 1).



Şekil 1. Laboratuvar ortamında kurulan düzeneğin şematik görünümü (11).

Erlenmayerler en az 10 klux ışık alan bir yere dikkatlice yerleştirildi ve yaprakların yaklaşık 6 saat fotosentez yapması sağlandı. Şişelerde aşırı ısınmaya sebep olmaması için bir tane ışık kaynağı yerleştirildi. 6 saat sonra, küçük şişeler çıkarılıp, NaHCO<sub>3</sub>'ün son pH değeri tespit edildi. Şekil 2'deki grafikten yararlanarak, denge koşullarında her bir pH için atmosferik CO<sub>2</sub> miktarı ppm olarak hesaplandı.

Çizelge 1- Fotosentez-Solunum Denge Noktalarının Belirlenmesi Amacıyla Farklı C-3 ve C-4 Bitkilerine Ait pH Değerleri ve CO<sub>2</sub> Miktarları.

Kullanılan Türler	Sodyum Bikarbonat'ın (NaHCO <sub>3</sub> ) pH'sı		Ölçülen CO <sub>2</sub> Miktarı (ppm)
	Başlangıçtaki pH	Son pH Değeri	
Arpa (C-3)	6,18	7,35	32
	6,20	7,23	41
Yonca (C-3)	6,22	7,30	34
	6,24	7,16	48
Mısır (C-4)	6,20	7,58	17
	6,20	7,71	12
Sorgum (C-4)	6,20	7,65	14
	6,21	7,81	7

Işık Yoğunluğu: 70 klux, Ortam Sıcaklığı: 30 °C, Fotosentez Süresi: 6 saat

Fotosentez sisteminin genetik düzeyde kontrol edildiği açıktır. Bu bilgi ışığı altında, acaba C-4 bitkilerindeki sistemi kontrol eden gen veya genleri C-3 sistemine aktarma olasılığı var mıdır? Bu konuda yapılan çalışmalar, değişik fotosentez sistemlere sahip aynı cinsin iki ayrı türü arasında melezleme yapılabileceğini göstermektedir (3). Ancak yapılan çalışmalarda istenilen sonuç elde edilememiştir. Bu araştırmalar melez bir dölün 4 karbonlu sistemin fonksiyonunu yerine getirmesi için hem bu sistemi oluşturan unsurların varlığını hem de var olan unsurlar arası uygun bir koordinasyonun bulunması gerektiğini göstermektedir. Bu nedenle, bu koşulları sağlayacak şekilde bir gen aktarma işlemi henüz gerçekleştirilmemiştir. Ancak bu sonuç çok az sayıda çalışmaya dayanmaktadır (3). Doğal C-4 sisteminin evrimi, binlerce, hatta milyonlarca yıl süresinde nesilden nesile sürüp gelen generatif üreme, genetik seviyede yeni kombinasyonlar sayesinde olmuştur. Bu nedenle kısa

## Bulgular ve Tartışma

Laboratuvar koşullarında fotosentez-solunum denge noktalarının belirlenmesi amacıyla yapmış olduğumuz çalışma sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir.

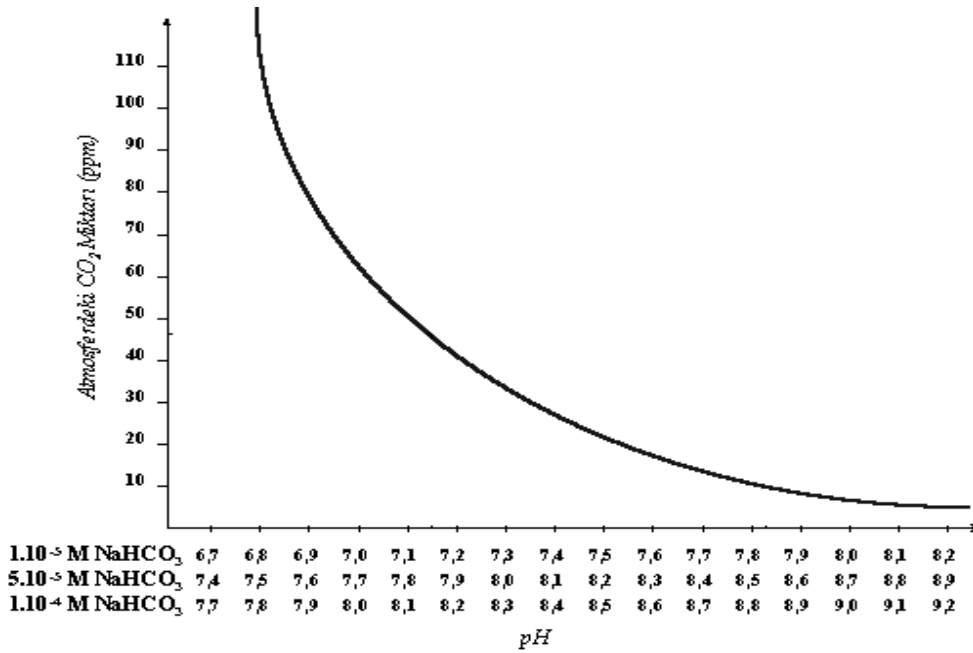
Çizelge 1 incelendiğinde çalışmada kullanılan NaHCO<sub>3</sub> çözeltisinin başlangıç pH'sı hemen hemen aynı olmasına rağmen (6,18-6,24), son pH değerlerinin C-4 bitkilerinde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. pH değerlerindeki değişime NaHCO<sub>3</sub> çözeltisi içinde çözünmüş CO<sub>2</sub> miktarlarının farklı olmasından kaynaklanmıştır. Çözünmüş CO<sub>2</sub> miktarları denge dengede olduğunda atmosferdeki CO<sub>2</sub>'nin kısmi basıncına bağlı olduğu için, pH değerlerinin artmasının nedeni bitkinin fotosenteze devam etmesidir (11). Buna göre Çizelge 1 incelendiğinde, C-3 bitkilerinden yonca ve arpada elde edilen son pH değerlerine karşılık gelen CO<sub>2</sub> miktarının 32-48 ppm arasında değiştiği görülmektedir. Oysa C-4 bitkisi olarak kullanılan mısır ve sorgumda bu değer 7-17 ppm arasında değişmektedir.

sürede laboratuvar çalışmaları ile 4 karbonlu sistemi başka bitkilere aktarmadaki başarısızlık hiçte şaşırtıcı değildir. Dört karbonlu sistemi kendinde olmayan bitkilere nakletme çalışmaları yanında bu konuda başka yararlı çalışmalarda yapılabilir. Bugün kültürü yapılan C-4 bitkilerinin sayısı çok azdır. 4 karbonlu sisteme sahip yabancı bitkiler zirai amaçla ıslah edilerek bu bitkilerin sayısı artırılabilir. Örneğin, tane amarath bitkisi tane hayvan yemi veya buğdaya karıştırılarak ekmek yapımında kullanılabilir. Bu bitki daha önce Orta Amerika'da kızıl derililerin yiyecekleri ve ticari ürünleri arasında yer almıştır (7).

Kültürü yapılan C-4 bitkilerine gelince bunlarla ilgili bazı çalışmalar yapılabilir. Eldeki veriler, 4 karbonlu sistemin sıcak ve kurak bölge koşullarında evrimleştiğini göstermektedir. C-4 bitkileri büyüme esnasında suyu daha etkili kullanmaları ve yüksek sıcaklıklarda yüksek fotosentez yapmaları gibi üstün özelliklere sahiptirler.

Acaba mevcut tarımsal uygulamalar bu özelliklerden yararlanıyor mu? Bu soruya verilecek yanıt olumlu değildir. Tarımsal uygulamaların ve bitki ıslah programlarının esas amacı optimum koşullarda birim alandan en yüksek verimi elde etmektir. Bu amaca zengin tarım topraklarında ve uygun iklim koşullarında ulaşılmış olabilir. Ama, suyun ve yüksek sıcaklıkların bitki gelişmesini sınırladığı bölgelerde istenilen amaca

ulaşılamamıştır. Böyle bölgelerin kısıtlı koşullarını C-4 bitkileri ile değerlendirme olanağı vardır. Kurak bölgelerde bile su savurganca ve dolayısıyla düşük randımanda kullanılmaktadır. Ayrıca, yüksek verimli bitkilerin ıslahı aynı zamanda fazla su tüketimini gerektirdiğinden, ıslah programlarında az su kullanma özelliklerini de geliştirmek gerekmektedir (3).



Şekil 1. Farklı Konsantrasyonlardaki NaHCO<sub>3</sub> Çözeltisinin, 1 Atmosfer Basınç ve 30 °C'deki pH Değerleri ve Atmosferdeki CO<sub>2</sub> Miktarları (ppm) Arasındaki İlişki (Ross, 1974).

Özet olarak kurak arazilerde su tasarrufu sağlayacak tarımsal uygulamalar yanında mevcut suyu etkili kullanan

çeşitlerin ıslahı zorunludur. Bu gelişmede C-4 bitkileri önemli bir rol oynayabilir.

## Kaynaklar

- [1]. Kacar, B. ve Katkat, V., Bitki Besleme, 595 s., Bursa, 1988.
- [2]. Kacar, B., 1996. Bitki Fizyolojisi. A.Ü.Z.F. Toprak Bölümü, Yayın No:1447, Ders kitabı:427, Ankara.
- [3]. Çelik, N., Ürün Fizyolojisi, Uludağ Üniversitesi Ders Notları, No:79, Bursa, 1998.
- [4]. Aydemir, O. ve İnce, F., Bitki Besleme, 653 s., Diyarbakır, 1988.
- [5]. Benson, A.A. and M.Calvin, 1950. Carbon dioxide fixation by green plants. Ann. Rev. Plant Physiol.1:25-42.
- [6]. Calvin, M. and A.A.Benson, 1948. The path of carbon in photosynthesis. Science 107:476-480.
- [7]. Björkman, O. and Berry, J., High-Efficiency Photosynthesis, Scientific American, 229(4):80-93, 1973.
- [8]. Radmer, R. and B.Kok, 1978. Energy capture in photosynthesis:Photosystem II. Ann. Rev. Brochem. 44:409-433.
- [9]. Black, C.C., Photosynthetic carbon fixation to net CO<sub>2</sub> uptake. Annual Review of Plant Physiology 24:253-286, 1973.
- [10]. Osmond, C.B., 1978. Crassulacean acid metabolism: A curiosity in context. Ann.Rev. Plant Physiol. 29:379-414.
- [11]. Ross, W.C., Plant Physiology Laboratory Manual. Wadsworth Publishing Company, Inc. Belmont, California, 1974.