

FİTOLİT SİSTEMATİKLERİ*

George Rapp Jr. & Susan C. Mulholland

Çeviri: Haydar İLKER TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Sekreteri, Ankara

ÖZ: Bitkilerdeki mineral depolanmaları olan fitolitler, önemli arkeolojik ve paleoortamsal bilgiler elde edinebilme potansiyeline sahiptirler. Çeşitli ortamsal koşullar altında korunan bitkilerden sadece fitolitler, arkeolojik ve paleoortamsal yorum için yararlı veriler sunan sistemattikte denenmişlerdir. Buradaki önemli konu, şeklin tanımı ve bitki alemindeki veri dağılımı olan sistemattiktir. Kalsiyum fitolitleri, kristal ve amorf şekillerin genel terimlerle ifade edildiği mikroskop çalışmasının ilk aşamasından başlanarak izlenirler. Opal fitolitleri daha çok dikkat çekmişlerdir. Fitolit sınıflandırmasına yönelik çok çeşitli yaklaşımlar vardır. Bu makale, fitolit sınıflandırmaları ile ilgili birçok konuyu içermektedir.

TEMEL TANIMLAMALAR

Fitolitler, paleoortamsal ve arkeobotaniksel bilgi sağlayan botanik mikrofosilleridir (Rovner 1983a ve b, 1988). Fitolitler bu çalışmada bitki hücrelerinde ve hücre aralarında oluşmuş mineral depolanmaları olarak tanımlanmışlardır. Diatom ve deniz yosunu gibi tek hücrelilerin kistleri de ayrı ayrı çalışılmış olmasına karşılık, bu incelemede dikkate alınmamıştır. Birçok bitki, yeraltı sularından çeşitli kimyasal elementleri absorbe eder ve bunları bünyesinin çeşitli bölümlerinde depolar. Kalsiyum depolanmaları genellikle kristalizedir; bunlar kısmen kalsiyum okzalat aynı zamanda kalsiyum fosfat ve kalsiyum karbonat bileşimindedir (Lanning 1961). Bazı kalsiyum depolanmaları ise amorfurlar (Arnott 1976). Opalin silika depolanmaları doğada genellikle amorf olarak bulunurlar (Jones ve Handreck 1967), fakat kristalize olanlarından da bahsedilmektedir (Wilding ve Drees 1974). Yakın tarihteki sistemattik araştırmaları opal fitolitler üzerinde yoğunlaşmıştır, ancak bu yazıda da belirtildiği gibi (Cumming, Jones ve Bryant) mikrofosil tanımlanması için gerekli özelliklere kalsiyum fitolitleri sahiptirler.

Angiosperm, gymnosperm ve pteridophylerdeki opal fitolit dağılımı Piperno (1988: 21, 23-37) tarafından gözden geçirilmiştir. Monocotyledon ve dicotyledonlarda opal fitolit üretimi yaygındır. Poaceae veya Gramineae (ot), Cyperaceae (kamış), Ulmaceae, Fabaceae veya Leguminosae (fasulye), Cucurbitaceae (balkabağı) ve Asteraceae veya Compositae (ayçiçeği) gibi bitki aileleri silika toplayıcıları olarak tanınırlar.

Hernekadar birçok familyanın tanımlanabilir fitolit depolanması göstermemesi veya çok az göstermesinden dolayı opal depolanması universal (genel) değilse de, bu durum bu ailelerin tüm üyelerini kapsamaz. Silikası az olan aileler de belirgin fitolit üreten türlere sahiptirler. Örneğin, Pinaceae'nın fitoliti azdır (Piperno 1988:21) fakat *Pseudotsuga menzeisii* türü için belirgin bir fitolit üretimi kaydedilmiştir (Brydon, Dore ve Clark 1963; Norgren 1973).

Kalsiyum fitolitlerinin dağılımı da yaygındır. Kalsiyum oksalat birçok familyada (McNair 1932) ve bitkilerin her kısmında bulunur (Franceschi ve Horner 1980). Bazı aileler istikrarlı toplayıcılar olarak ortaya çıkarlar. Cactaceae kalsiyum kristalleri için iyi bir örnektir (Franceschi ve Horner 1980). Scurfield, Michell ve Silva (1973) iki yıldan fazla yaşayan ağaç gövdelerinin kristallerini kaydetmişlerdir. Chattaway (1953, 1955, 1956) birçok tropik ağaç türünde benzer oluşumları saptamıştır. Kalsiyum karbonat, Urticaceae (ısırgan), Moraceae (dut), Acanthaceae (kenger) ve Cannabinaceae (kendir) familyalarında kaydedilmiştir (Simkiss ve Wilbur 1989; 125). Birçok depolanma hücre duvarındadır, ancak Cystolith olarak adlandırılan belirgin yapılar bazı bitkilerde görülebilmektedir.

Fitolitler çürümeye yüz tutmuş mekanizmalarda açığa çıkarlar ve depolanırlar (Dimbleby 1978: 129). Depolanma normal olarak bitkilerin çürüme yüzeylerinde veya hemen altında oluşmaktadır, böylece fitolitler doğrudan toprağa ve sedimanlara katılırlar. Isı ve güçlü rüzgar erozyonu fitolitleri rüzgar taşınmasına maruz

* *PHYTOLITH SYSTEMATICS: Emerging Issues*, Editors: George Rapp Jr. and Susan C. Mulholland, s. 1-10, Publ. Society for Archaeological Sciences.

birakırlar. Fitolitlerin atmosferik tozlarda izlenmesi, taşınmanın uzun mesafelerde yapıldığının göstergesidir (Folger, Burckle ve Heezen 1967; Twiss, Suess ve Smith 1969). Hernekadar Cape Verde adaları dolayında, okyanus akıntılarının oluşturduğu sanılan çok büyük fitolit konsantrasyonları olmasına rağmen, suda taşınma sorunu detay olarak ele alınmamıştır (Melia 1984: 354). Fitolitler musluk suyunda da izlenmişlerdir (Baker 1959b: 82).

Fitolitler sediman düzeylerinin kalıcı unsurları olabilirler (Rovner 1988: 155). Uç PH koşullarına göre normal şartlar altında daha uzun yaşarlar. Yaklaşık 60 milyon yaşlı Paleosen yaşlı sedimenter kayalarda opal fitolitler saptanmıştır (Joner 1964). Periglasiyal sedimanlar da dahil olmak üzere daha genç sedimanlar (Fredlund, Johnson ve Dort 1985) ve bataklık, bozkır, otluk ve orman gibi habitat silsilesi toprakları fitolit içerirler. Fitolitler okyanus (Bukry 1987) ve göl (Piperno 1985b) içlerinde de bulunurlar. Kalsiyum fitolitleri birçok sedimenter ortamda gözlenmemiş fakat genç koprolitler de bulunmuşlardır (Bryant 1974).

Bitkilerdeki yaygın üretim ve birçok sedimandaki iyi korunma kombinasyonu, arkeolojik ve paleobotanik çalışmalar için fitolitlere büyük potansiyel değer sağlamaktadır. Bunun yanısıra, herhangi bir fosil sistemine göre fitolit analizinin avantaj ve dezavantajları vardır. Küçük bir grup bilim adamı, eski ortamları ve yakın tarihli tarımı incelemek için fitolit üretim ve depolanmasının fasetalarını araştırmaktadırlar.

Araştırmanın önemli konularından biri, fitolitlerin hangi bitki taksasını ne derece tanımladığıdır. Sedimanlardaki fitolitlerin belirlenmesi doğrudan modern bitki fitolit üretiminin ayrıntılı bilgilerine dayandırılır. Çeşitli çalışmalar, monocot ve dicotların birçok familyasında fitolit üretiminin fazla olduğunu göstermektedir (Franceschi ve Horner 1980; Piperno 1988). Mikrofosillerin tanımlanmaları için fitolitler, sedimanlardaki devamlılık gibi ayırtedici bir özelliğe ihtiyaç duyarlar. Arkeolojik ve paleoekolojik amaçlar için yapılan çalışmalar (Pearsall 1979; Piperno 1985a), botanik taksonomisi veya kompozisyonel analizler için yapılan çalışmalardan (Metcalf 1960; Lanning 1961) dayanakları açısından ayrılırlar. Morfoloji, dokudaki dağılım örnekleri veya temel bileşimler üzerinde oturtulmuştur.

Morfolojik çeşitlilik miktarı taksondan taksona değişir, fakat bazı taksaların tanımlama özelliği başka mikrofosillerinkinden daha fazladır. Örneğin, bitki polen taneleri familya düzeyinin altında tanımlanamazlar. Opal fitolitleri, çokluk (bir taksonda birçok şeklin üretimi) ve fazlalık bir şeklin birçok taksada var olması (Rovner

1971) faktörlerine bağlı olsalarda, çok boldurlar ve otlarda morfolojik olarak çeşitlilik gösterirler (Mulholland 1989). Sazlardaki fitolit şekillerinin ayrıntılı analizleri, diğer mikrofosillerden elde edilemeyecek derecede önemli bilgiler sunarlar (Ollendorf, Mulholland, Rapp 1987).

Tafonomik dokular, fosil materyellerinin doğru yorumu için önemlidirler. Mikrofosillerin her tipiyle bütünleşen dağılım metodları, sedimanlardaki dağılımı etkilerler. Üreme işleminin bir bölümü olarak, polen zerrelere sadece çiçeklerde ürerler ve çiçekten çiçeğe rüzgar veya böcekler taşınırlar. Rüzgarla polenlenmiş bitkiler, rejyonel bitki örtüsü altında bilgi veren çok uzun mesafelere taşınabilen birçok zerrecik üretirler. Böceklerle polenlenmiş bitkiler çok az sayıda tanecik üretirler, bundan dolayı rejyonel polen kayıtlarında pek bulunmazlar. Fitolitler bitkilerin birçok kısmında bulunurlar ve bitki dokusunun tahrihiyle açığa çıkarlar. Fitolitler, humustaki normal ayrışmayla toprağa karışırlar ve lokal bitki örtüsünün kayıtlarını üretirler. Fitolitler ısı ve güçlü erozyonlarla atmosfer ve hidrosfere karışırlar ve uzun mesafelere taşınabilirler. Toprak ve sedimanlardaki çeşitli aktif fiziksel ve kimyasal prosesler, fosilleri değişik şekillerde etkilerler. Opalin silika, güçlü alkali koşullarda dissolüsyona karşı duyarlıdır (Iler 1979: 41, 65). Bundan dolayı güçlü alkali çökellerin (midye yığınları gibi) önemli ölçüde fitolit içermeleri beklenmemelidir. Hernekadar dissolüsyon prosesini düzenliyen bazı faktörler ortaya çıksa da, fitolit yüzeylerindeki karbon kaplamaları yüksek PH koşullarına karşı koruma görevi yaparlar (Lewis 1981). Opalin silika depolanmalarındaki yüksek alüminyum ve düşük su içerikleri dissolüsyonu geciktirirler (Bartoli ve Wilding 1980). Kalsiyum okzalit fitolitleri, asidik çevrelerdeki dissolüsyonlara neden olurlar. Kalsiyum kristalleri de uygun şartlarda korunabilirler (Andrejko, Cohen ve Raymond 1983).

TARİH

Fitolitler mikroskobun bulunmasından itibaren izlenmişlerdir. İlenirler. Loeuwenhoek, kalsiyum fitolitlerini 1675'te gözlemlemiştir (Arnott 1976: 57). Silika fitolitleri biraz daha sonra kaydedilmişlerdir. İlk çalışma 1835'te ortaya çıkmıştır (Rovner 1983a). 1836'da C.G. Ehrenberg bitki ve çökel fitolitlerinin sistematik tanımlamasına başladı (Baker 1960). Ehrenberg, bu yapıların bitkilerde yaşayan mikro-organizmaların iskeleti olacaklarını düşündü ve 1866'da bazı formların bağımsız organizmalardan ziyade, mineralize bitki dokuları olabileceği kanısına vardı. Yine 1866'da Ruprecht, fitolit terimini bitkilerde depolanmış mikroskopik opalin oluşumları olarak tanımladı

(Baker 1959a). İlk buluş döneminden sonra fitolit araştırması seyrekleşti. Çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan tanımlama çalışmaları sonraki yıllarda da devam etti. Örneğin, tozlardaki fitolitler Ehrenberg'in sistemi kullanılarak sınıflandırıldı (Baker 1960).

Fitolitlerin bitki anatomi ve fizyolojisi ile ilişkileri 1900'lerde ele alınmıştır (Piperno 1988 4-5). Netolitzky (1929) opal fitolitlerinin botaniksel araştırılmasına yönelik bir inceleme yayınlamıştır. Kalsiyum fitolitlerinin dağılımı için McNair'e (1932) bakınız (Franceschi ve Horner 1980:381). Rovner (1983a) iki dünya savaşı arasında düzenli olarak artan

çalışmalar kaydetmiştir. Yine bu dönem içerisinde fitolitlerin bitki fizyolojisi ile ilişkisi ve agronomi ile uygunluğu araştırmaları devam etmiştir. Bu çalışmalarla fitolitlerin, bitki familyalarındaki mineral dağılımına odaklanan oluşumu, morfolojisi ve çeşitlilikleri hakkında birçok bilgi elde edilmiştir. Fitolitler, taxonomik amaçlar için, diğer epitermal özelliklerle birleştirilmek için de kullanılmışlardır (Prat 1936). Her ne kadar epitermal mikrostrüktürlerde önemli taksonomik korelasyonlar kaydedilmişse de, bu metodoloji kromozomal araştırmaların başlamasıyla terkedilmiştir.

İkinci Dünya savaşından hemen sonra opal fitolit

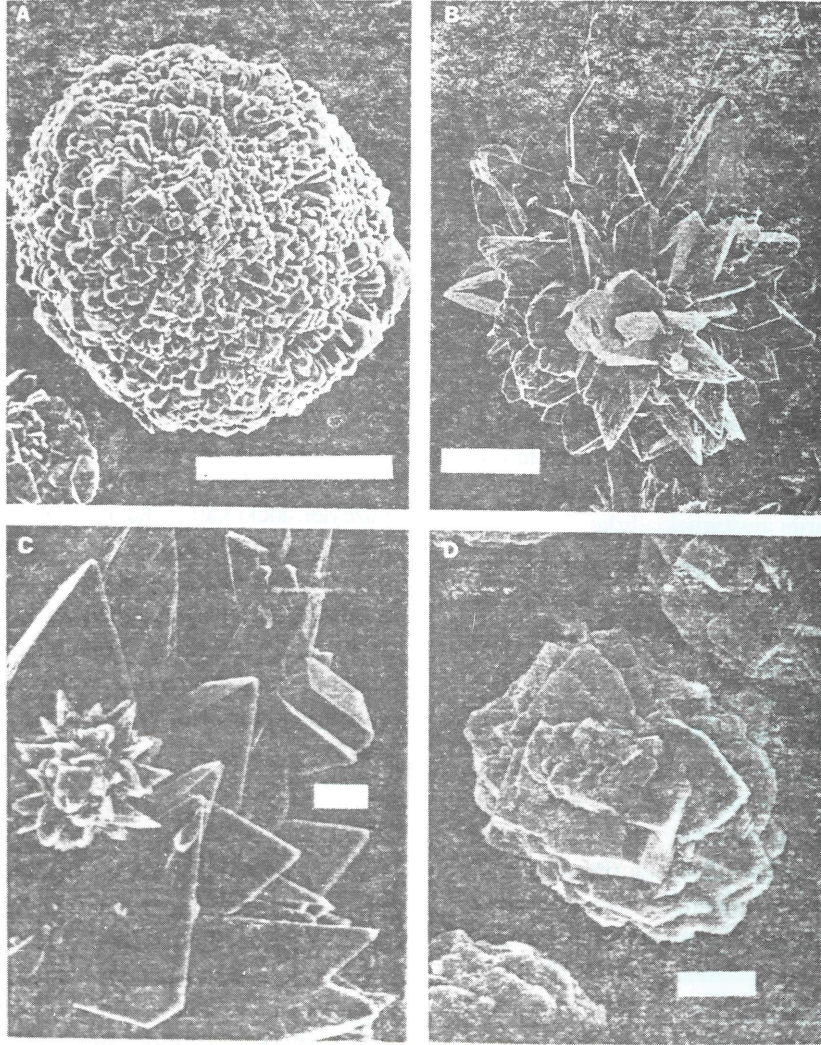


Foto 1. Elektron Mikroskopta çekilen Phytolith resimleri

A) *Mammillaria heyderi* - Ölçek 100 mikron

B) *Opuntia engelmannii* var *texana* - Ölçek 100 mikron

C) *Opuntia engelmannii* var *texana* - Ölçek 10 mikron

D) *Opuntia engelmannii* var *texana* - Ölçek 10 mikron

Bu phytolitler Amerika'nın Texas eyaletinde son 6000 yıllık Kaktüsler içinde saptanmışlardır.

araştırmaları çoğalmıştır. Toprak bilimcileri, fitolit analizlerini paleosol tanımlama ve tarihlemeye olduğu gibi, eski çevrenin yapılanmalarını öğrenmek amacıyla da kullanmışlardır. Çevrenin yeniden yapılanması esas olarak, bozkır ve orman topraklarının ayırt edilmesine yönlendirilmiştir (Witty ve Knox 1964). Birçok araştırmacı, fitolit içeren çeşitli ortamları karakterize etmek için modern toprağı referans olarak analiz etmiştir. Çayır fitolitleri orman topraklarında az olmasına karşılık tüm güncel çökellerde bulunurlar. Bu veriler, daha sonra paleosollere ve değişik coğrafik bölgelerin topraklarına uygulanmıştır (Gross 1973, Jones ve Hay 1975).

Fitolitler seyrekte olsa pedolojik çalışmalarda, bitki atalarıyla ilişkilendirilmişlerdir. İlk olarak sediman örnekleri dikkate alınmıştır. Hernekadar 1900'lerdeki çalışmalarla önceden belirlenmişlerse de, bitkilerdeki opal fitolitlerin sistematik tanımlamaları daha çok yenidir. Botanikçiler (diğer anatomik strüktürler gibi), epidermal dokuları elektron mikroskop çalışmalarında inceleyerek fitolitleri dökümlendirmişlerdir (Hayward ve Parry 1980, Terrel ve Wergen 1981). Hernekadar gövde ve kök dokularının silika içerdiği bulunmuşsa da yaprak ve çiçeklenme dokuları çok daha önemli olarak çalışılmıştır. Diğer botanik çalışmaları, depolanma proseslerine (Sangster ve Parry 1981) veya bitkilerdeki silika fonksiyonlarına (Kaufman ve diğ. 1981) yönelmiştir.

Kalsiyum fitolitleri paleoekolojik açıdan önemli ölçüde çalışılmamışlardır. Bitkilerde yaygın olmalarına karşılık, çökellerden elde edilenlerin örneği azdır. Bu durum birçok sedimentasyonda zayıf korunmanın göstergesidir. Özel bir depolanma konumunu temsil eden Caprolitler, kalsiyum fitolitlerini meydana çıkarırlar (Bryant 1974, Cummings 1989). Farklı çevrelerin kayıtlarının azlığı, materyelin gerçekten az olmasından çok, zayıf elde etme (iyileştirme) metodlarını yansıtabilir. Opalin silikayı elde etmek için özel teknikler geliştirilinceye kadar birçok çevredeki silika fitolitleri kaydedilmemişlerdir.

Fitolit çalışmalarında iki sorun güncel durumdadır: Modern bitki fitolitlerinin sistematığı ve çökel fitolitlerinin yorumu (arkeolojik ilişkileri de içeren). Opal fitolitlerinin oluşumu ve dağılımı hakkındaki birçok bilgi, arkeolojik ve paleoekolojik çalışmaların sonucu olarak son yirmi yılda elde edilmiştir. Ekvator'da (Pearsal 1979), Havai'den (Pearsal ve Trimble 1984), Panama'dan (Piperno 1984, 1985a) ve Birleşik Devletleri'nin orta kısmından (Brown 1984) birçok örnek test edilmiştir. Buna ek olarak botanik çalışmaları, geniş bir bitki taksa silsilesinde, sili-

ka dağılımını kaydetmiştir. Alman literatürünün yeniden incelenmesiyle, çeşitli familyalardaki silika dağılımına özel bir dikkat çekildiği görülecektir. Kalsiyum fitolitleri kısmen de kalsiyum okzalate botanik literatüründe sistemli olarak yer almaktadır. Birçok inceleme (Arnott 1976, Franceschi ve Horner 1980) bitki familyalarındaki oluşumu özetlemektedir. Hernekadar birçok taksa henüz test edilmiş, birçoğu için de ayrıntılı morfolojik çalışmaya gereksinim varsa da, sediman fitolitlerinin yorumu için yeterli bilgiye sahip olduğumuz söylenebilir. Çok sayıda örneğe dayandırılarak gerçekleştirilen opal fitolit analizleri, paleoekoloji çalışmalarında da uygulanmıştır. Eski çevrenin yeni yapılanmalarına ilişkin çalışmalar, yakın tarihli çökellerde yapıldığı gibi (Jones ve Beavers, 1964) buzul devri çökellerinde de yapılmıştır (Jones ve Dort 1985). Fitolitler, paleosol horizonları ve eski bitki örtülerini tanımlamak içinde kullanılmışlardır (Dormaar ve Lutwick 1969). Okyanus çökelleri, rüzgar yönünde dahil olmak üzere, eski ortamlar hakkında bilgi vermektedirler (Melia 1984, Bukry 1987).

Fitolit araştırmalarında birçok arkeolojik araştırma sorunu ele alınmıştır. Cultigenlerin tanımlanması, darı (Pearsal 1978, Piperno 1984), mısır (Fijiwara, Jones ve Brockwell 1985) ve birçok eski dünya tahıllarını içermektedir (Helback 1961, Rosen 1987). Caprolitler, kaktüs veya agaveye olarak atfedilen fitolitleri meydana çıkarırlar (Bryant 1974). Çiftçilik uygulamaları, arazi yüzeylerinin tanımlanmasını (Pearsal ve Trimble 1984), koruyucu tabaka uygulamalarını (Turner ve Harrison 1981) ve sulamayı içerirler. Eski çökel fitolitleri ortamın gelişimini öğrenme konusunda oldukça yararlı olmuşlardır. Carbone (1977) genellikle ormanlar gibi bitki topluluklarını, güncel A horizonlarıyla deneştirerek yorumlamışlardır. Lewis (1981) ve Mac Donald (1974) paleoindiandan yakın tarihlere kadar bozkırların değişen tiplerini dökümlendirmişlerdir.

SİSTEMATİK

Birçok kalsiyum fitoliti, genel biçimlerin 1/5'ini oluşturacak şekilde kristallidirler (Franceschi ve Horner 1980:381). Raphideler, tek hücrelide demetlenerek yığılan iğne şeklindeki kristallerdir. Styloid, biçim olarak raphide ile aynıdır, fakat daha kalındır ve tek olarak oluşur. Prizmatik kalsiyum fitolitleri, blok şeklinde geometrik biçimler oluştururlar. Kristal kumu, tek hücrelide, birlikte oluşan küçük bir kristaller grubunu işaret eder, aynı zamanda beş genel biçimin kombinasyonları ve varyasyonları da oluşabilir.

Beş genel kristal şekli, en azından 1900'lerden beri tanımlanmışlardır (Haberlandt 1914). Franceschi ve Horner 1980:383), biçim ve lokasyon özelliklerinin sınıflandırmada kullanıldığını kaydetmişlerdir. Onların tablo özetleri (pp 384-397, 397-401) bitkilerin türlerini ve kalsiyum fitolit üreten örnekleri tanımlarlar. Fitolit biçimlerinin ayrıntılı anlatımları, fosil materyallerindeki bitki orijinin tanımlanması için gereklidir.

Kalsiyum kristallerinin kimyasal bileşimi sınıflandırmada kullanılabilir. Kalsiyum okzalat, monohidrat (whewellite) ve dihidrat (weddelite) formlarında oluşmaktadır. Bunlar tek türler için kaydedilmişlerdir (Franceschi ve Horner 1980: 397-401). Diğer kalsiyum bileşikleri karbonat ve fosfatlarda kaydedilmişlerdir (Lanning 1961).

Opal fitolit sistematığına yönelik birçok yaklaşım vardır. Bir tanesi, her fitolit tipini ayrı bir

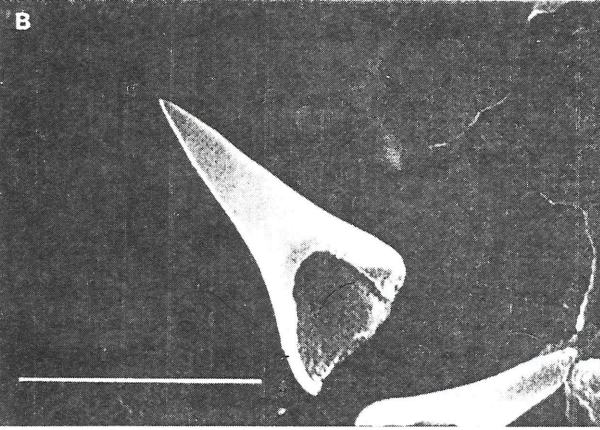
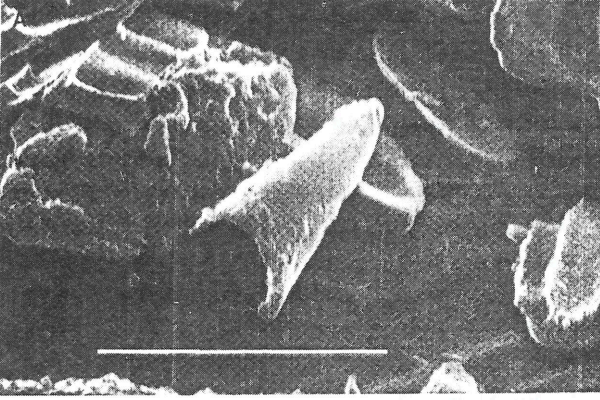


Foto 2. Elektron mikroskopta çekilen Phytolith resimleri

A) *Agrostis scabra*

B) *Triticum dicoccoides*

Bu phytolitler Ayak Otu (*Carex Romans*) adlı bitkiler içinde oluşmaktadır.

varlık olarak ele alıp linnean sistemindeki latince isimleri saptamaktadır. Taksa, morfolojik temelde tanımlanmıştır; gruplandırma parataksa kurallarına göre yapılmıştır (Bukry 1979). Hernekadar fitolitler bitkilerde oluşurlarsa da, orjinal bitkiyi tanımlamak için bir çaba gösterilmemiştir. Bu yaklaşım Ehrenberg'indir (1854). İlk önce fitolitleri, mikroorganizmaların silisli iskeletleri olarak ele aldı; Hernekadar, daha sonra opal fitolitlerini gerçek silisli hücreler veya bitki kısımları olduğunu kabul etmesine rağmen, Ehrenberg bu taksonomik tasarımı korudu. Ehrenberg 90'ın üzerinde fitolit türünü tanımlamış ve sınıflamıştır.

Mikropaleontologlar genellikle bu yaklaşımı izlerler. Dumitrica (1973), Ehrenberg sistemini üç Graminaes (Poaceae) ve bir Uquisetale paragenerasını tanımlayan parataksa olarak biçimlendirmiştir. Hernekadar yakın tarihli çalışmalar, diğer sınıflandırma türlerini de ortaya çıkarıyorsa da, bu sistem okyanus içi kayıtlarında yaygındır. Bukry (1979), linnean taksonomik yaklaşımı kadar yararlı olan Twiss, Suess ve Smith'in (1969) tanımsal yaklaşımını ele alıyor. Locker ve Martini (1986) hernekadar sonunda parataksonomik yaklaşımı kabul etseler de, hiçbir yaklaşımı tatmin edici kabul etmiyorlar. McIlia (1984) sadece opal fitolitler gibi yapıları, sınıflandırma sorunundan kaçış olarak ele almaktadır.

Parataksonomik yaklaşımın ardındaki mantık ikilidir. İlk önce botanik terminolojisinin uluslararası kodları, bitki ve hayvanların iskelet kısımlarının saptanmış linnean isimlerini kabul ederler. Bu işlem paleontolojide, fosil orijinlerinin bilinmediği yerlerde yararlıdır. Örneğin kono-dontlar parataksada sınıflandırılan bir gruptur. Hernekadar fitolitlerin bitkilerden oluştuğu biliniyorsa da, var olan taksalarla fitolitlerin familya veya daha alt familyalarına kadar tanımlanması olanaklıdır.

Parataksonomik yaklaşımın esasını oluşturan ikinci neden, orijinal bitkilerin hangi derecede var olduğuna bağlıdır. Dumitrica (1973:940), fitolitlerin tür değil ancak familya seviyesine kadar tanımlanmasının daha iyi olacağını belirterek Smithson'a (1958:154) katılmaktadır. Bukry (1979), "önemli form" ların bitkilerde geniş olarak dağıldığını ve buna ek olarak tek bir yaprağın çeşitli fitolit tipleri üretebileceğini söyler. Bu gözlemler bir dereceye kadar özellikle Poaceae (Smithson'a 1958 de sadece bu familyayı belirtir) için doğrudur. Hernekadar Poaceae'de de morfolojik değişiklik ve fitolit üretimindeki tutarlılık yüzeysel çalışmalarla ortaya konandan daha fazla ise de, çeşitlilik ve bolluk opal fitolit üretiminde potansiyel olarak büyük rol oynamaktadır. Fosil materyallerinden orijinal bitkinin

tanımlanması, yerel genç referans materyallerinin detay morfolojik çalışmasını gerektirir. Brown (1984); Twiss, Suess ve Smith (1969)'in sınıflandırması üzerinde özenle durarak, önemli bitki fitolit şekillerindeki büyük değişkenliği tanımlamıştır. Pearsal (1979) ve Piperno (1984) darının tanımlanmasını çapraz şekilli yapılanmalarda yapmıştır. Piperno (1958a), dicotyledonları da içeren birçok tropik bitki familyasındaki silikanın daha ileri tanımlamasını yapmıştır. Onun çalışması, opal fitolitlerinin genüs veya tür seviyesinde ayırt edici olduklarını gösterir (Piperno 1988: 248-253).

Botanikçiler, eklemli doku kısımlarına dayandırılan opal fitolit sistematğine başvurmuşlardır. Morfoloji gibi, oriyantasyon ve lokasyon bilgileri, situ fitolitlerinde geçerlidir ve yığılanmamış fitolitlerden daha fazla tanımlama elde edilebilir. Diğer anatomik özelliklerle birleştirilince, normal olarak tanımlama daha iyi yapılabilir. Fitolit tipleri, morfoloji, lokasyon ve oriyantasyon özelliklerinden sonra yazılırlar (örg: sırtlar, küreler, yatay gerili dolambaçlı köşeler).

Botaniksel yaklaşım, Metcalfe'de (1960) tanımlanmıştır. Fitolitler veya silika yapıları, Poaceae için kaydedilen anatomik karakteristiklerden biridir. Fitolitlerin morfolojileri kadar, lokasyon ve oriyantasyonları da tanımlanmıştır. Örneğin, bitki damarlarının üzerindeki fitolitler, damar aralarındakilerden ayırt edilirler. Bir subfamilya olan Oryzoidea, yaprak uzunluğuna dik olan gülle şeklindeki fitolitlerin oriyantasyonlarıyla tanımlanır. Kamış ve palmiyeler de aynı anlamda ele alınırlar (Tomlinson 1969, Metcalfe 1971). 1900'lerdeki kapsamlı araştırmalar, fitolitlerin botaniksel bakışına yönelmiştir.

Üçüncü bir yaklaşım, sınıflandırmayı sadece fitolit morfolojisine dayandırmaktadır. Situ oriyantasyon ve lokasyon özellikleriyle birleşen sınıflandırmalar, kümeleşmemiş fitolitlere uygulanamazlar. Sedimenter çevrelerin çoğu eklemli kısım göstermezler. Buna karşılık kümeleşmemiş fitolitler, tanımlanabilecek birçok üç eksenli morfoloji gösterirler, çünkü situ fitolitlerindeki çevre dokusu morfolojik detayları belirsizleştirme eğilimindedir.

Fitolit tiplerini tanımlayan iki metod, morfolojik yaklaşımda uygulanmıştır. Birinde sadece morfolojik tanımlamalar ve isimler kullanılır. Fitolit tipleri, geometrik şekillere genel olarak taslak şeklinde dayandırılırlar. Bu metod, kolayca uygulanabilme ve kavranabilme avantajına sahiptir. Diğer metod, fitolit tiplerini geometrik metoddan daha çok bitki anatomisiyle ilişkilendirir. Fitolit tipleri, silisli bitki unsurlarından sonra yazılır. Örneğin, uzun silindirler, sclereids veya tracheids olabilirler. Bu metodta bitki anatomisi hakkında daha fazla bilgiye gereksinim vardır. Morfoloji

halen kullanılan tek özelliktir, fakat bu metodta bitki dokusundaki orijini tanımlamak için kullanılır. Avantajlar açıktır, fitolitlerden alınabilecek daha fazla bilgiyle daha değerli yorumlar yapılabilir.

Twiss, Suess ve Smith (1969), kümeleşmemiş fitolitler için morfolojik sınıflandırmanın geometrik metodunu tanımlamışlardır. Onların sınıflaması, bitki fitolitlerini 4 sınıfta toplam 26 türde gruplandırır. Morfolojik isimler, taslaktaki görünüme dayandırılır; gülle, sırt vs. Bu tasarı geniş olarak uygulanır (Lewis 1981; Fredlund, Johnson ve Dort 1985). Brown (1984), Twiss'in sınıflandırmasını genişletmiş ve geometrik sınıf listesine trichomesleri (bitki anatomisine dayanan bir sınıf) de eklemiştir. Piperno (1988) anatomik metodu tanımlar ve önerir. Onun tasarımında ki tüm ilk bölünmeler hücre tipine dayandırılır. İkincil bölünmeler morfolojiye dayanır. Anatomik bilgi ile fosil materyelleri hakkında daha fazla yorum yapılabilir. Örneğin, sclereidslerin tanımlanması türler belli olmadan da ağaç bitkilerinin varlığına işaret eder.

FİTOLİT SİSTEMATIĞİNİN GÜNCEL DURUMU

Sınıflandırma planları geniş bilgiye bir düzen getirmek için yapılır. Herhangi bir kişi fitolitler için kladistik, genetik, bitki anatomisi, morfometri veya bitkilerdeki fitolit oluşumunu, doğuştan olan özelliklerin sonuçlarına bağlı değişkenler üzerine kurulan sınıflandırmaları yapabilir. Arkeolojik araştırmalar için yararlı sınıflandırma, fitolitlerin konumunu kesinlikle arkeolojik ve eskiortamsal koşullarda ele almalıdır. Sedimenter ortamlarda tekçe olarak çok iri fosil fitolitleri bulunabilir, bunlar orijinal bitkinin şebeke yapısından ayrılmışlardır. Arkeolojik problemlerin çözümü için araştırmacılar tarafından düzenlenen sınıflandırmalarda botanik kladistik koşullarından çok, morfometrik veya morfometrik/anatomik durumlar kullanılmaktadır.

Bu bölümdeki yazılar fitolit sistematğinin çeşitli durumlarını ele almaktadır. Fitolit sınıflandırmasının genel sorunlarının tanımlanması ve kısa bir tarihçe, verilmiştir. Sistematğe yönelik çeşitli yaklaşımlar tarihsel olarak verilmiş, bir çoğuda gözden geçirilerek geliştirilmiştir. Avrupada geliştirilen sınıflamanın ayrıntılı incelemesi Powers tarafından sunulmuştur, bu sunuş ayrıca tarihsel tanımlamaları da vermektedir (fitolit analizlerinin dünya çapında incelenmesine genel bir bakış için, Piperno'ya bakınız 1988, 1-10). Pearsal ve Dinan, opal fitolitler için 10 yıldan fazla süren çalışmalara dayanan sınıflandırma sistemleri öne sürerler.

Birçok bölüm özel bitki taksasını veya kısımlarını ele alır. Bitki silika depolanmaları (Mulholland ve Rapp) ve kamış kozalaklarının (Ollendorf) sınıflandırılmaları, yeni bilgiye dayandırılan grupların bir bölümünü incelemektedir, kısmende reorganizasyonu yapmaktadır. Twiss, paleoklimatolojik yorumları da katarak C3/C4 oransallığını saptıyarak bitki silika gövdeleri arasındaki korelasyonu tartışmıştır. Yiyecek bitkilerinin tanımlanması, birçok makaleye konu olmuştur. Rosen, yabani otlarla, hurma palmyeleri gibi, arpa ve buğdayı da tartışmıştır. Kaplan, cultigenlerin geniş değişim bilgisini sunmuştur. Cummings, vahşi ve evcil bitkilerin birçok kalsiyum ve silika fitolitlerini tanımlar, ve onlara değinir. Bozarth, Birleşik Devletlerin orta bölümünde vahşi dicotları çalışmıştır. Jones ve Bryant, cactinin kalsiyum fitolit sınıflamalarıyla uğraşmışlardır. Sangster ve Hodson, bitkilerin yeraltı kısımlarının da silika toplayıcıları olabileceklerini hatırlatmaktadırlar.

Rovner ve Rus, stereoloji ve morfometri için geliştirilen otomatik tekniklere neden olan sınıflandırmaya yönelik yeni bir yaklaşımı ele almaktadırlar. Sınıflandırmanın ilke ve teknikleri araştırma için zengin bir alan sağlayacaklardır. Eklenmiş bibliyografya yeni analizciler için bir başlama noktası olacaktır. Hernekadar bibliyografya ayrıntılı değilse de (kısmen kalsiyum fitolitleri için), sistematik enformasyon içeren ayrıntılar için bir girişimdir. Sadece fitolit sistematiği ile ilgili maddelerden alıntular, birkaç fitolitin anlatım ve tanımını içeren morfoloji ve sınıflandırma, geniş bir çalışmanın parçasıdır.

Fitolit sistematiğinde arkeolojik materyellerin yorumlarını elde edebilmek için daha çok çalışmak gereklidir. Piperno'nun (1988) Panama'da yaptığı çalışma diğer alanlarda da yapılmalıdır. Birçok grubun ayrıntılı morfolojik tanımı henüz yapılmamıştır. Russ ve Rovner (1989), bir taksondaki fitolit formlarının, boyut ve şekil

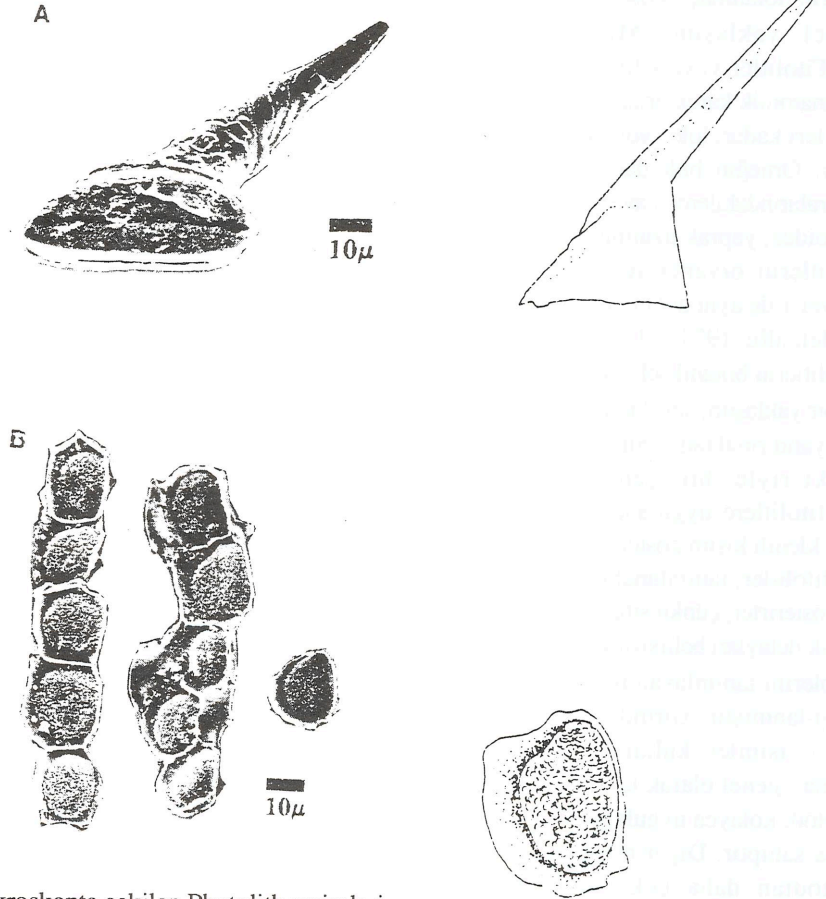


Foto 3. Elektron mikroskopta çekilen Phytolith resimleri

A) *Aegilops speltoides*

B) *Lolium perenne*

Bu phytolitler tahıl tohumları içinde saptanmış olup, sağ taraflarında çizimleri gösterilmiştir.

parametrelerinin değişimlerine yönelik ayrıntılı nicel bilginin geneldeki eksikliğine işaret ederler. Hernekadar fitolitler halen birçok arkeolojik ve paleoekolojik koşullara uygulanıyorlarsa da, başka bir fitolit araştırma grubu çalışmasından ortaya çıkan fitolit analizleri uygulamalarına ait araştırmalar birçok yayında yer almıştır.

Günümüzde çok miktarda fitolit enformasyonu kullanılmaktadır. Özel morfolojik çalışmalara ek olarak botanik literatüründe daha fazla sistematik yer almaktadır. Bitki anatomisi çalışmaları, fitolit lokasyonuna ait bilgi içerebilirler. Bitki taksonomileri, potansiyel olarak eklemli kısımlara dayandırılan çalışmaların morfolojik bilgilerini içerebilirler. Hernekadar ayırtedilebilecek yapılar henüz belirlenmemişse de, nitelikli analiz çalışmaları spesifik taksanın silika içeriği olmasına işaret edebilir. Bu bilgiler; major bitki taksasının titiz çalışmalarıyla olduğu gibi rejyonel çalışmalarla da karşılaştırılmalı ve tanımlanmalıdır. Bu kitap, fitolit sistematigi üzerine bilgimizi artırmaya uğraşan ve halen devam eden çabanın bir bölümünü kapsamaktadır.

KAYNAKLAR

- Andrejko, MJ, Cohen, AD and Raymond, R, Jr 1983, Origin of mineral matter in peat. In Roymond, R, Jr and Andrejko, MJ, eds, Mineral Matter in Peat. Los Alamos, New Mexico, Los Alamos National Laboratory: 3-24.
- Arnott, HJ. 1976, Calcification in higher plants. In Watabe, N and Wilbur, KM, eds, The Mechanisms of Mineralization in the Invertebrates and Plants. Columbia, South Carolina, University of South Carolina Press: 55-78.
- Baker, G. 1959a, Fossil opal-phytoliths and phytolith nomenclature. Australian Journal of Science 21: 305-306.
- 1959b, Opal phytoliths in some Victorian soils and "red rain" residues. Australian Journal of Botany 7: 64-87.
- 1960 Phytolitharien. Australian Journal of Science 22: 392-393.
- Bartoli, F. and Wilding, LP. 1980 Dissolution of biogenic opal as a function of its physical and chemical properties. Soil Science Society of America, Journal 44: 873-878.
- Brown, DA. 1984, Prospects and limits of a phytolith key for grasses in the central United States. Journal of Archaeological Science 11: 345-368.
- Bryant, VM. Jr 1974, The role of coprolite analysis in archaeology. Bulletin of the Texas Archeological Society 45: 1-28.
- Brydon, JE, Dore, WG and Clark, JS 1963 Silicified plant asterosclerids preserved in soil. Soil Science Society of America, Proceedings 27: 476-477.
- Bukry, D. 1979, Comments on opal phytoliths and stratigraphy of Neogene silico-falgellates and coccoliths at Deep Sea Drilling Project Site 397 off northwest Africa. In Shamback, JD, ed, Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project 49: 977-1009. Washington, DC, US Government Printing Office.
- 1987, North Atlantic Quaternary silicoflagellates, Deep Sea Drilling Project Leg 94. In Orlfsky, S, ed, Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project 94(2): 779-783. Washington, DC, US Government Printing Office.
- Carbone, VA (ms) 1977, Environment and prehistory in the Shenandoah Valley, PhD dissertation, The Catholic University of America: 227 p.
- Chattaway, MM 1953, The occurrence of heartwood crystals in certain timbers. Australian Journal of Botany 1: 27-38.
- 1955, Crystals in woody tissues: Part I. Tropical Woods 102: 55-74.
- 1956, Crystals in woody tissues: Part II. Tropical Woods 104: 100-124.
- Cummings, L. Scott (ms) 1989, Coprolites from medieval Christian Nubia: An interpretation of diet and nutritional stress. PhD dissertation, University of Colorado: 204 p.
- Dimbleby, GW 1978, Plants and Archaeology. Atlantic Heights, Nev Jersey, Humanities Press, Inc: 190 p.
- Dormaar, JF and Lutwick, LE 1969, Infrared spectra of humic acids and opal phytoliths as indicators of paleosols. Canadian Journal of Soil Science 49: 29-37.
- Dumitrica, P 1973 Phytolitharia. In Kaneps, AG, ed, Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project 13 (2): 940-943.. Washington, DC, Us Government Printing Office.
- Ehrenberg, CG 1854 Mikrogeologie, 2 volumes, Leipzig, Leopold Voss: 374 p.
- Folger, DW, Burckle, LH and Heezen, BC 1967 Opal phytoliths in a North Atlantic dust fall. Science 155: 1243-1244.

- Franceschi, VR and Horner, HT, Jr 1980 Calcium oxalate crystals in plants. *Botanical Review* 46: 361-427.
- Fredlund, GG, Johnson, WC and Dort, W, Jr 1985 A preliminary analysis of opal phytoliths from the Eustis Ash Pit, Frontier County, Nebraska. Institute for Tertiary-Quaternary Studies, TER-QUA Symposium Series 1: 147-162.
- Fujiwara, H, Jones, R and Brockwell, S 1985 Plant opals (phytoliths) in Kakadu archaeological sites: A preliminary report. In Jones, R, ed, *Archaeological Research in Kakadu National Park*. Australian National Park and Wildlife, Special Publication 13, Canberra, Australian National University: 155-164.
- Gross, Er (ms) 1973, Buried soils of the drainageways in the driftless area of the upper Mississippi Valley, PhD dissertation, University of Minnesota: 195 p.
- Haberlandt, G 1914, *Physiological Plant Anatomy*. London, Macmillan and Co: 777 p.
- Hayward, DM and Parry, DW 1980, Scanning electron microscopy of silica deposits in the culms, floral bracts, and awns of barley (*Hordeum sativum* Jess.). *Annals of Botany* 46: 541-548.
- Helbaek, H 1961, Studying the diet of ancient man. *Archaeology* 14: 95-101.
- Her, RK 1979, *The Chemistry of Silica*. New York, John Wiley & Sons: 866 p.
- Jones, LHP and Handrek, KA 1967, Silica in soils, plants and animals. *Advancer in Agronomy* 19: 107-149.
- Jones, RL 1964, Note on occurrence of opal phytoliths in some Cenozoic sedimentary rocks. *Journal of Paleontology* 38: 773-775.
- Jones, RL and Beaver, AH 1964, Variation of opal phytolith among some great soil groups in Illinois. *Soil Science Society of America, Proceedings* 28: 711-712.
- Jones, RL and Hay, WW 1975, Bioliths. In Giesking, JE, ed, *Soil Components*. II. New York, Springer-Verlag: 481-496.
- Kaufman, PB, Dayanandan, P, Takeoka, Y, Bigelow, WC, Jones, JD and Her, R 1981, Silica in shoots of higher plants. In Simpson, TL and Volcani, BE, eds, *Silicon and Siliceous Structures in Biological Systems*. New York, Springer-Verlag: 409-449.
- Lanning, FC 1961, Calcite in *Lesquerella ovalifolia* trichomes. *Science* 133: 380.
- Lewis, RO 1981, Use of opal phytoliths in paleoenvironmental reconstruction. *Journal of Ethnobiology* 1: 175-181.
- Locker, S and Martini, E 1986, Phytoliths from the southwest Pacific, site 591. In Blakeslee, JH, ed, *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project* 90(2): 1079-1084. Washington, DC, US Government Printing Office.
- MacDonald, LL (ms) 1974, Opal phytoliths as indicators of plant succession in North-Central Wyoming: 71 p.
- McNair, JB 1932, The interrelation between substances in plants: Essential oils and resins, cyanogen and oxalate. *American Journal of Botany* 19: 255-271.
- Melia, MB 1984, The distribution and relationships between palynomorphs in aerosols and deep-sea sediments off the coast of northwest Africa. *Marine Geology* 58: 345-371.
- Metcalfe, CR 1960, *Anatomy of the Monocotyledons*. I. Gramineae. Oxford, Clarendon Press: 731 p.
- 1971 *Anatomy of the Monocotyledons*. II. Cyperaceae. Oxford, Clarendon Press: 597 p.
- Mulholland, SC 1989, Phytoliths shape frequencies in North Dakota grasses: A comparison to general patterns. *Journal of Archaeological Science* 16: 489-511.
- Netolitzky, F 1929, Die kieselkorper. In Linsbauer, K, ed, *Hanbuch der Pflanzen-anatomie* 3(1a): 1-19, Berlin, Gebruder Borntraeger.
- Norgren, JA (ms) 1973, Distribution, from and significance of plant opal in Oregon soils. PhD dissertation, Oregon State University: 165 p.
- Ollendorf, AL, Mulholland, SC and Rapp, G, Jr 1987, Phytoliths from some Israeli sedges. *Israel Journal of Botany* 36: 125-132.
- Pearsall, DM 1978, Phytoliths analysis of archaeological soils: Evidence for maize cultivation in Formative Ecuador. *Science* 199: 177-178.
- (ms) 1979, The application of ethnobotanical techniques to the problem of subsistence in the Ecuadorian Formative. PhD dissertation, University of Illinois: 267 p.
- Pearsall, DM and Trimble, MK 1984, Identifying past agricultural activity through soil phytoliths analysis: A case study from the Hawaiian Islands. *Journal of Archaeological Science* 11: 119-133.

- Piperno, DR 1984, A comparison and differentiation of phytoliths from maize and wild grasses: Use of morphological criteria. *American Antiquity* 49: 361-383.
- 1985a, Phytolith analysis and tropical paleoecology: Production and taxonomic significance of siliceous forms in New World plant domesticates and wild species. *Review of Palaeobotany and Palynology* 45: 185-228.
- 1985b, Phytolith analysis of geological sediments from Panama. *Antiquity* 59: 13-19.
- 1988, *Phytolith Analysis: An Archaeological and Geological Perspective*. New York, Academic Press: 280 p.
- Prat, H 1936, La systematique des Graminees. *Annales des Sciences Naturelles, Botanique, Series 10*, 18: 165-258.
- Rosen, AM 1987, Phytolith studies at Shiqmim. In Levy, TE, ed, *Shiqmim I: Studies concerning Chalcolithic societies in the Negev Desert, Israel (1982-1984)*, *British Archaeological Reports International Series* 356: 343-249.
- Rovner, I 1971, Potential of opal phytoliths for use in paleoecological reconstruction. *Quaternary Research* 1: 343-359.
- (ms) 1983a, Multi-disciplinary sense and non-sense: Is a science of phytoliths really necessary? Paper presented at the 149th AAAS Annual Meeting, Detroit, Michigan.
- 1983b, Plant opal phytoliths analysis: Major advances in archaeobotanical research. In Schiffer, M, ed, *Advances in Archaeological Method and Theory* 6: 225-266. New York, Academic Press.
- 1988, Macro- and micro-ecological reconstruction using plant opal phytolith data from archaeological sediments. *Geoarchaeology* 3: 155-163.
- Russ, JC and Rovner, I 1989, Stereological identification of opal phytolith populations from wild and cultivated *Zea*. *American antiquity* 54: 784-792.
- Sangster, AG and Parry, DW 1981, Ultrastructure of silica deposits in higher plants. In Simpson, TL and Volcani, BE, eds, *Silicon and Siliceous Structures in Biological Systems*. New York, Springer-Verlag: 383-407.
- Scurfield, G, Michell, AJ and Silva, SR 1973, Crystals in woody stems. *Botanical Journal of the Linnean Society of London* 66: 277-289.
- Simkiss, K and Wilbur, KM 1989, Plant mineralization-ions, silicification, and the transpiration stream. In Simkiss, K and Wilbur, KM, *Biomining: Cell Biology and Mineral Deposition*. New York, Academic Press: 106-130.
- Smithson, F 1958, Grass opal in British soils. *Journal of Soil Science* 9: 148-155.
- Terrell, EE and Wergen, WP 1981, Epidermal features and silica deposition in lemmas and awns of *Zizania* (Gramineae). *American Journal of Botany* 68: 697-707.
- Tomlinson, PB 1969, *Anatomy of the Monocotyledons. II. Palmae*. Oxford, Clarendon Press: 453 p.
- Turner, BL, II and Harrison, PD 1981, Prehistoric raised-field agriculture in the Maya lowlands. *Science Society of America, Proceedings* 33: 109-115.
- Wilding, LP and Drees, LR 1973, Scanning electron microscopy of opaque opaline forms isolated from forest soils in Ohio. *Soil Science Society of America, Proceedings* 37: 647-650.
- 1974, Contributions of forest opal and associated crystalline phases to fine silt and clay fractions of soils. *Clays and Clay Minerals (Clay Mineral Society, Proceedings of the Conference)* 22: 295-306.
- Witty, JE and Knox, EG 1964, Grass opal in some chestnut and forested soils in north central Oregon. *Soil Science Society of America, Proceedings* 28: 685-688.