

A NÖVÉNYI OPÁLSZEMCSÉK KUTATÁSÁNAK RÖVID TUDOMÁNYTÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉSE A FELFEDEZÉSTŐL NAPJAINKIG

PETŐ Ákos

Szent István Egyetem, Környezet- és Tájgazdálkodási Intézet,
Természetvédelmi és Tájökológiai Tanszék
2103 Gödöllő, Páter Károly u. 1., Peto.Akos@mkk.szie.hu

Kulcsszavak: fitolit, palaeo- és archaeobotanika, palaeotalajtan, öskörnyezettan, környezetrégészet, tudománytörténet

Összefoglalás: XIX. század elején, amikor a mikroszkópi kutatások úttörői egyre mélyebbre és mélyebbre hatoltak az ismeretlen mikrovilágban, a világon elsőként, a német STRUVE figyelt meg ún. növényi opálszemcséket, azaz fitolitokat, élő növényből készített metszetein. Paradox módon ez a felfedezés – amelyet a fitolitikutatás kibontakozásának kezdődátumaként fogad el a szakma – egy évvel megelőzte a pollenek negyed-időszaki üledékekből történő kimutatását. Százötven évnél kellett ezután elteltie – hatvanöt évvel több, mint a palinológia esetében – hogy a fitolitanalízis önálló öskörnyezettani, környezetrégészeti és botanikai tudományterületté vívja ki magát.

Bevezetés

Jelen áttekintő dolgozat célja, hogy bepillantást engedjen a növényi opálszemcsékkel foglalkozó tudományterület, az ún. fitolitikutatás kialakulásának folyamatába és bemutassa annak fejlődését a felfedezés korától egészen napjainkig. A dolgozat áttekintő jellegű bibliográfiai feldolgozás, és elsődleges célja, hogy a hazánkban is talán egyre ismertebbé váló tudományterület történeti fejlődését magyar nyelven adja közre. Ennek fényében bemutatásra kerülnek a fejlődést meghatározó felfedezések, illetve a hozzájuk kötődő korszakok, valamint az egyes földrajz régiók, amelyek szisztematikus munkákat, iskolákat és tudományos műhelyeket tudhatnak magukénak. A fent említettek közül adódóan a dolgozat logikailag két részre tagolódik. Az első részben a történeti fejlődés bemutatása a cél, míg a másodikban az egyes országok, kontinensek rövid bemutatása és – a teljesség igénye nélkül – a sarokkövekként elismert munkák megemlítése.

Egy elfogadott felosztás szerint (PIPERNO 1988) a fitolitikutatás közel két évszázados történelme négy nagy korszakra osztható. A felfedezés és felderítés korszakában, amely 1835-től az 1900-as évek kezdetéig tartott, fedezték fel és írták le először a növényi opál szemcséket. Az 1895-től 1936-ig jegyzett növénytani korszakban a kutatások központja a korabeli Németország volt, és az időszak legnagyobb vívmánya, hogy a korabeli tudományos világ végérvényesen elfogadta, hogy az opálszemcsék a növényi életműködés produktumai. Talajtani és növénytani módszerek alkalmazásával kiegészített (archaeo) botanikai kutatások megindulása jellemzi az ökológiai-botanikai jellegű kutatások korszakát, amelyet az 1950-es évek közepétől datálnak. Ebben az időszakban használták fel először az eddig elért eredményeket és kifejlesztett módszereket történeti ökológiai kutatásokhoz az észak-amerikai kontinensen. Részben ennek a korszaknak az eredményein ereszt gyökeret a régészeti jellegű fitolitikutatások modern korszaka, amelynek kezdetét az 1970-es évek közepétől számítják.

Rövid elméleti háttér

A fitolitok – másnéven növényi opál szemcsék – az élő növény sejteiben és sejtközzéi terében (*intra-* és *intercelluláris* tér) kiválasztott, hidratált szilíciumdioxidból felépülő részecskék, amelyek a növényi szervesanyag elbomlása után szabadulnak fel a növényi szövetből (MADELLA 2008). Képződésük elsősorban a talajban hozzáférhető és oldott formában jelenlevő monokovaszav $[\text{Si}(\text{OH})_4]$ koncentrációjától, klimatikus viszonyoktól és az adott növény szilícium-akkumulációs affinitásától függ (PIPERNO 2006). A szerves mikroszkopikus (v.ö.: pollen, keményítő szemcsék, mikrofászen maradványok) és makroszkopikus (v.ö.: magok, szenült növényi maradványok stb.) fossziliákkal szembeni előnyük, hogy a növényi szövetből való feltáródásuk után hosszan perzisztálnak a befoglaló közegben, és extrém körülmények között is épen, képződésüknek megfelelő formában, textúrával, illetve mintázattal maradnak fenn. Mindezen tulajdonságuk okán ún. limitált (ős)környezeti paraméterek mellett is sikeresen alkalmazhatók palaeoökológiai és környezet régészeti kutatásokban (BLINNIKOV 2008).

Darwin és Ehrenberg – egy gyümölcöző tudományos együttműködés

A fitolitkutatás történelmének kezdetét G. A. STRUVE német tudós 1835-ös, *De silica in plantis nonnullis* című doktori disszertációjától számíthatjuk. STRUVE elsőként számolt be írott formában, és kísérelt meg szisztematikus leírást adni a növényekben megfigyelt szilíciumos részecskékről. Kutatásait a Berliini Egyetemre benyújtott tézisében foglalta össze (MADELLA 2008), de a „fitolitok atyjának” mégsem őt, hanem a Delitzsch városában, 1795-ben született honfitársát, Christian Gottfried EHRENBERTGET (1795–1876) tekintik (POWERS 1992). A történelem fintora, hogy ugyan STRUVE növényi szövetben figyelte meg az „első” opálszemcséket, amelyekről értekezését írta, mégis jó pár évnek kellett eltelnie mire EHRENBERTGET kutatásai nyomán a kor tudósai bizonyítottan érezték, hogy a fitolitok valóban növényekből származnak, és növényi szövetekből feltáródva akumulálódnak talajokban és egyéb geológiai médiumokban. Ennek a tévhitnek az alapja az volt, hogy EHRENBERTGET eleinte – az utazásai során összegyűjtött – mélytengeri és szárazföldi üledék és szélhordta por mintákat vizsgálva nem foglalkozott mélyrehatóan a növényi opálszemcsék származásával, keletkezésével. Figyelme csak később, egy kezdetleges osztályozási rendszer megalkotása után fordult a szilícium testecskék eredetének tisztázása felé.

A saját korszakában megbecsült porosz tudós a tudományok történetének tragikus, ellentmondásos és sok tekintetben mellőzött alakja, amelynek egyik magyarázata, hogy – a darwini tanokat tagadva – sziklaszilárdan hitt a mikroszkopikus életformák bonyolult testszerveződésében. Ennek ellenére, ma már több tudományterület (aerobiológia, geomikrobiológia, neurobiológia stb.) is neki tulajdonítja az adott diszciplína fejlődésének kezdeti lépéseit. Emellett elorozhatatlan érdeme a „Föld, mint élő és egységes entitás” elmélet kidolgozása (KRUMBEIN 1995) is.

ALipce mellett kisvárosában napvilágot látott EHRENBERTGET apja akaratának megfelelően először teológiát, majd medicinát tanult mielőtt érdeklődése a természettudományok felé fordult (HTTP1). Legelső, tragikus kimenetelű utazását Heinrich Menu von MINUTOLI (1772–1846) gróf kísérelésként tette a Közel-Keleten (1820–1826), amelyre egyetemi barátjával Wilhelm Friedrich HEMPRICH (1796–1825) indultak egy korábban füstbe ment

madagaszkári gyűjtőút helyett. A viszontagságos és nélkülözésekkel teli, több mint 5 teljes évet felölelő kalandozásnak Arábia, Egyiptom és Núbia területein, a mindössze 29 éves HEMPRICH halála vetett véget. Miután a tifuszban elhunyt HEMPRICH-et a Vörös-tenger egyik szigetén nyugalomra helyezte EHRENBURG visszaindult Európába, hogy leltárba vegye az 5 év alatt felgyülemlett és hazaküldött gyűjteményét. A kollekcója ekkor már közel 34 000 állattani (3987 faj), 46 000 botanikai (4000 faj) mintára és több mint 300 közetre rúgott, amely kiegészült további régészeti és etnográfiai leletekkel (SARJEANT 1978; KRUMBEL 1995). Mindemellett számtalan földrajzi és földtani térkép, illetve vázlat került a berlini székhelyű Porosz Királyi Tudományos Akadémia tulajdonába. A fiatalon elhunyt utazó és természettudós, HEMPRICH nevét azóta több állatfaj tudományos neve is őrzi, amelyek közül az egyik legérdekesebbnek mondható, az egykoron borostyánba zárva megtalált álskorpió faj a *Pseudogarypus hemprichii*. A von Minutoli-féle afro-sínai utazás lezárása 3 könyvben történt meg, amelyből kettőt – Darwin hasonló ihletésű és nevét híressé tevő műveit megelőzően – a korallzátonyok fejlődéséről és élőlényeiről írta.

Később, összeismerkedve korának híres természettudósával és felfedezőjével (HTT2), Alexander VON HUMBOLDT (1769–1859) társaként számos utazást tett újra a Közel-Keleten, illetve az orosz cár anyagi és szellemi támogatását élvezve Kelet-Oroszország és Kína határvidékein (1829–1830), amely gyűjtőutakról szintén víz, talaj, üledék, szélhordta por és közetmintákkal megrakodva tért haza. Munkásságának eredménye a természettudományok területén tett számos megfigyelés és új fajok leírása. Mindazonáltal a mikroszkópi világban tett „utazásai” tették igazán híressé és elfogadottá. A mikroszkópi világgal, 1827-es professzori kinevezése és a fordulópontot jelentő ázsiai utazásából hazatérve kezdett el mélyrehatóan foglalkozni. Ennek az elhatározásának az eredménye, hogy szisztematikus kutatásokba kezdett a növényi opálszemcsék területén is.

Kezdeti feltételezése, amely szerint a növényekben megtalált kovaszemcséket a növények testében élő, de a gazdaszervezettől független mikroorganizmusok termelik (MULHOLLAND és RAPP 1992) arra vezérelte őt, hogy a Carl VON LINNÉ (1707–1778) által korábban megalkotott binominális nomenklatúrát használva osztályozza a megfigyelt kovalemezskéket. Később, 1866-ban ráébredt korábbi feltételezésének helytelenségére, de osztályozási rendszerének alapjait nem változtatta meg. Élete során mindösszesen 90 „fitolit fajt” írt le.

Az általa megalkotott „*phytolitharia*” kifejezésből származtatjuk a mai is használatos „fitolit”, vagy angolul „*phytolith*” kifejezéseket. A szó etimológiailag az ógörög „növény” és „kő”, azaz „növényi kő” jelentésre vezethető vissza, amely szóösszetétel megfelelően tükrözi a növényi szövetekben képződő opálszemcsék szeretlen voltát.

1837-től a Londoni Geológiai Társaság tagjává választották, így munkásságát nemcsak a Porosz Királyi Tudományos Akadémiának benyújtott jelentéseiből, hanem a társaság folyóiratainak lapjairól is megismerhetjük.

Egy 1841-es jelentésében dél- és észak-amerikai üledékmintákból meghatározott 70 mikroorganizmusról számol be (EHRENBURG 1841). 1845-ben közzé tett elemzése egyes észak-európai folyótorkolatok üledékeinek mikrovilágát mutatja be (EHRENBURG 1845), míg az 1846-ban megjelent cikkének már a címében is említi a fitolit kifejezést a korabeli *phytolitharia* megnevezést használva (EHRENBURG 1846). Említésre méltó az egyik, 1851-es munkája, amelyben oroszországi útja során gyűjtött csernozjom (tchomoi zem) talajminták elemzésén keresztül kezdetleges ökoszisztémái rekonstrukciós munkát végzett el. A vízborította területéről származó talajmintákban megtalált és meghatározott 22 „nem-

vízi phytolitharia” részecske alapján vonta le azt a következtetést, hogy a vizsgálat tárgyát képező „talaj egy ősi erdő törmelékén képződött” (EHRENBERG 1851), és nem a jelenkori vízi környezet eredményeképpen fejlődött.

Ahogy fentebb kitértünk rá, számos publikáció látott napvilágot EHRENBERG tollából 1841 és 1854 között. Ezen időszakban született meg két legfontosabb műve. 1849-ben, a berlini Porosz Királyi Tudományos Akadémia által megjelentett, Passatstaub und Blutregen (TWISS 2001; EHRENBERG 1849) tanulmánya, amelynek címét a líbiai partokon mentén örvénylő és véresőhöz hasonlító vörös afrikai homok képe ihlette. A második az 1854-ben megjelentett Mikrogeologie című monográfiája (EHRENBERG 1854), amelynek sikere szintén hozzájárult hírneve öregbítéséhez (LAZARUS 1998).

A földtan mikroszkópi világát bemutató nagy összefoglaló művében adta közre az 1830-as években elkezdett osztályozási munkájának teljes változatát. A könyv 41 színes rézmetszeten mutatja be az általa megfigyelt és meghatározott mikrofosziliákat (1. és 2. ábra). Osztályozási rendszere a *Foraminifera* (Likacsosházúak), *Protozoa* (Állati egysejtűek) és *Coelenterata* (Úrbelüek) taxonokból vonultat fel fajokat, amelyeket azonban növényi elemek is kiegészítenek. A *phytolitharia*-nak elnevezett növényi eredetű mikrofosziliákat négy paranemzetségre sorolta. Mesterséges rendszerében, amelyre a *para*- előtag utal, három nemet a pázsitfűfélék családjának (*Gramineae*), egyet pedig a zsurlófélék családjának (*Equisetaceae*) szentelt.

EHRENBERG kutatásai során felismerte, hogy a fitolitok növényekből származnak, és megsejtette, hogy morfológiájuk összefüggést mutat az anyanövény anatómiájával és rendszertani helyével. Munkásságának mértéktartó mivoltát mutatja, hogy saját rendszerét mesterségesnek tekintette, ezzel fogalmazván meg kételyeit az egyértelmű megfeleltetést illetően a növényfaj, vagy taxon és az üledékekből, talajokból visszanyerhető mikrofosziliák kapcsolatában.

Amellett hogy a Porosz Tudományos Akadémia örökös titkára, majd – a később Humboldt Egyetemként ismert – Berlini Egyetem Orvostudományi Karának dékánja, illetve az egyetem rektora lett, a mikroszkópi világ feltárásában tett erőfeszítéseit és érdemeit elismerendő, elsőként vehette át 1857-ben az Amszterdami Tudományos Akadémia által adományozott Leeuwenhoek medált; 1842-ben pedig a Porosz Királyság legrangosabb katonai érdemrendjének szimbólumát a Pour le Merit keresztjét. A francia GEORGES CUVIER (1773–1838) az alábbi kijelentéssel méltatta a német tudós munkásságát: „Felfedezései teljességgel megváltoztatják elképzeléseinket, és különösen felforgatnak egyes rendszereket; így azok közül valók, amelyek korszakokat nyitnak a tudomány történelmében” (CUVIER idézi DUNCAN 1877).

A természettudományok történelmének egy másik prominens személye is felbukkan a növényi opál szemcsék felfedezésének korai szakaszában. Az említett tudós, akinek 200. születési évfordulója folyó év februárjára esik, nem más, mint Charles Robert DARWIN (1809–1882), aki utazásai során több alkalommal, levegőből fátyolszöveten át megszűrt port gyűjtött (GORBUSHINA et al. 2007). Afrika keleti partvidékének tengerein gyűjtött anyag tulajdonságáról megtudhatjuk DARWINTÓL, hogy „végtelenül finoman szemcsézett; vöröses-barna, és savval nem pezseg fel” (DARWIN 1845a) (v.ö.: EHRENBERG: Passatstaub und Blutregen). Érdeklődését az keltette fel, hogy a szélhordta üledék finom sérülésnyomokat hagyott a hajó csillagászati-optikai eszközein, amikor 1831 januárjában a Zöld-foki szigetek közelében horgonyoztak. Elbeszélése szerint, sokszor még egy negyed teáskanálnyit sem tett ki az a mennyiség, amelyet összegyűjtöttek, de ennek ellenére

„nyomozásba” kezdett. A tengeri porviharok korabeli irodalma szerteágazó, és még maga Darwin is megemlíti – a fentiekkel ellentétben – olyan alkalmat, amikor „az egész fedélzet piszkos lett” és „az emberi szem egészségét is veszélyeztető méreteket öltött” a porhullás (DARWIN 1845b). Az EHRENBERG professzornak átadott 5 tasaknyi eolikus por vizsgálati eredményeiről így ír DARWIN a Londoni Geológiai Társaság beszámolójának hasábjain: „EHRENBERG professzor megvizsgálta a JAMES hadnagy és az általam gyűjtött port, és arra az eredményre jutott, hogy jelentékeny része Infusoria, és nem kevesebb, mint 67 különböző formát rejt magában. Ez 32 kova pajzsos Polygastrica fajból, 34 Phytolitharia, vagy kovásodott növényi szövetformából, és egy Polythambia-ból tevődik össze” (DARWIN 1845a). További érdekességre tart igény a szerző alábbi mondata: „Az Infusoriák mind régóta ismert fajok, kivéve egyet, amelyet egy magyar fossziliával lehet kapcsolatba hozni; és mind édesvízi eredetű, kivéve kettőt (*Grammatophora oceanica* és *Textilaria globulosa*), amelyek minden bizonnyal tengeriek” (DARWIN 1845a).

Sajnos további utalás hazánk rejtelmes mikrofosziliájára nem található DARWIN beszámolójában. Utazásait összefoglaló művének I. fejezetében felhívja a figyelmet arra az ellentmondásra, hogy meteorológiai szempontból ugyan bizonyítottnak látja a szélhordta por afrikai eredetét, de ugyanakkor EHRENBERG, az afrikai kontinens jellemző Infusoria fajainak tudósa és jó ismerője, nem tudott a fekete kontinensen honos fajokat meghatározni az általa átadott eolikus porban, sőt némely faj kifejezetten a dél-amerikai kontinens vidékeiről volt csak ismeretes (DARWIN 1845b:).

A korszak két nagy természettudósának kapcsolata és munkásságuk összefonódása figyelemre méltó eredményekkel gazdagította az addigi természettudományos ismereteket, annak ellenére is, hogy EHRENBERG – hasonlóan oly sok kortársához – tagadta az evolúcióról és a fajok eredetéről alkotott darwini tanokat, amelyekről így nyilatkozott: „...a geológiai idők mikrobiotáinak elképesztő stabilitását látva, nem tudok megbarátkozni Darwin elméletével.”

Növényntani korszak – Németország elsősége

A német/porosz polihisztor, EHRENBERG, osztályozási rendszere és még inkább munkásságának szellemisége meghatározó volt a fitolitikus kutatás fejlődéstörténetében, valamint közvetlen hatással volt az 1900-as évek elején, német földön kibontakozó ún. botanikai kutatásokra. A kezdeti megfigyelések után leíró jellegű munkák születtek, amelyek nemcsak az egyes geológiai közegek, illetve hullóporok anyagát vizsgálták, hanem a növényekből közvetlenül kinyerhető opálszemcséket klasszifikálták az Ehrenberg-i osztályozási móddal. A német botanikusok a növényi kovás sejtzárványok képződésének, rendszertanának és fajon belüli formagazdagságának (*intraspecifikus variatio*) kutatására helyezték a hangsúlyt. Növényélettani vizsgálódások keretében az oldott formában felvehető szilícium lerakódását, akkumulálódását vizsgálták (PIPERNO 1988), hogy meghatározhassák a szilícium biomineralizációjának élettani és környezeti szabályozó faktorait.

Ezen kutatási irányzat terjedésének egyik előfutára volt GUNTZ 1866-ban publikált műve (idézi GROB 1896), amelyben 130 pázsitfűfaj sejtjének alakzatát és termőhelyük klimatikus viszonyait hasonlította össze. Eredményei alapján négy klimatikus csoportot különböztetett meg; ezek a: 1) bambusz típusú; 2) szavanna típusú; 3) réti és 4) sztyeppe-i fűvek.

A németajkú kutatók több monográfiát is publikáltak az 1880–1900 közötti időszakban, amelyben egyszikű növények, elsősorban kulturfajok és azok vad rokonainak bőrszöveti anatómiáját vizsgálták (1. táblázat).

1. táblázat Az ún. „német iskola” tagjai által publikált művek időrendi sorrendben, illetve a vizsgálatba vont fontosabb domesztikált és vad növényfajok (POWERS 1992; MADELLA 2008; NETOLITZKY 1914 nyomán módosítva)

Table 1. Chronological order of the publications of the „German school” and the list of some of the important domesticated and wild plant species (modified according to POWERS 1992; MADELLA 2008; NETOLITZKY 1914)

Év	Szerző	Vizsgált fajok*	
		Vadon élő fajok	Domesztikált fajok
1886	GUNTZ		<i>Poa spp.</i>
1875	HOHNEL		<i>Panicum miliaceum, Sorghum vulgare, Avena sativa, Triticum spelta, Hordeum vulgare, Secale cereale</i>
1896	GROB	<i>Olyra sp.</i>	<i>Oryza sativa</i>
1899	FORMANEK	<i>Setaria viridis, Triticum repens, Panicum cruss galli, Lolium temulentum</i>	<i>Avena spp., Bromus secalinus, Hordeum spp., Oryza sativa</i>
1905	NEUBAUER	ua. mint FORMANEK (1899) +	
		<i>Alopecurus pratensis, Setaria glauca</i>	<i>Zea mays</i>
1908	MOBIUS	<i>Callisia repens</i>	
1914 és 1929	NETOLITZKY	<i>Digitaria sanguinalis, Echinochloa crussgalli, Setaria italica, Panicum colonum, Setaria spp.</i>	
1914	FROHMEYER	<i>Poa pratensis, Elymus sibiricus, Lolium perenne, Bambusa nana et. arundinacea, Arundo phragmites, Uniola latifolia, Festuca arundinacea, Phleum pratense et. boehmeri, Phalaris arundinacea, Andropogon schimperii, Trisetum flavescens, Arundo donax</i>	<i>Hordeum distichum, Secale cereale, Avena sativa, Panicum sanguinale, Saccharum officinarum, Zea mays, Tripsacum dactyloides, Coix lacrymae, Oryza sativa, Sorghum halepense</i>

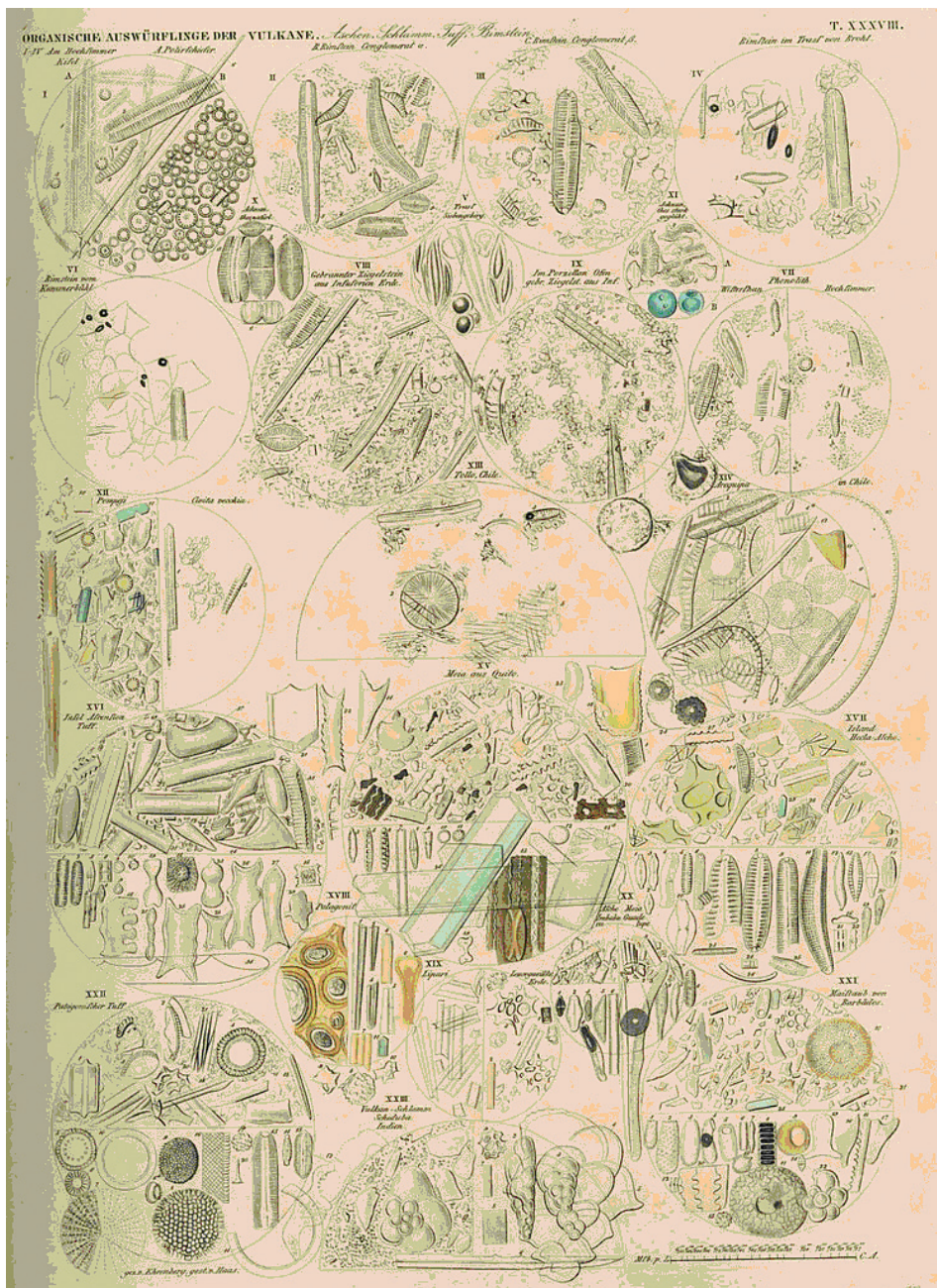
* egyes tudományos elnevezések a korabeli nevezéktannal megegyezően kerültek feltüntetésre

GROB (1896) több hosszú és rövid epidermális sejt leírását is megadta (v.ö.: Kieselkurzzellen, Kiesellangzellen), illetve elkülönített ún. elsődleges típusokat, amelyek több nemzetség több fajában előfordulva azonos morfológiát mutattak, illetve másodlagos, azaz fajra/nemzetségre jellemző morfortípusokat (2. táblázat). GROB osztályozási rendszerén keresztül igen korán, kimondatlanul is ráértett a fitolitkutatók egyik – máig is égető – problémakörére, méghozzá arra, hogy a fitolitok világa redundanciával és sokszínűséggel terhelt (ROVNER és RUSS 1992). Az ún. szekunder típusokat nem nevezte el, csak egy római számmal jelölte létezésüket, megfigyelésük tényét.



1. ábra Atlantischer Passatstaub c. színes rézmetszet a Mikrogeologie (EHRENBURG 1854) című monográfiából. Az egyes részecskék metszetei, mint mindig 300x nagyítás mellett készültek, és sok egyéb *phytolitharia* mellett tartalmazzák a Zöld-foki szigeteken gyűjtött porból feltárt növényi opál szemcséket is (v.ö. IV. sz. jobb felső körcikk).

Figure 1. Atlantischer Passatstaub entitled copper plate from EHRENBURG'S Mikrogeologie (1854) Particles represent a magnification of 300x, as always, and besides various *phytolitharia*, the ones recovered from the dust collected by Darwin near Cape Verde can be seen on the upper-right circle, numbered IV.



2. ábra Organische Auswürflinge der Vulkane c. színes rézmetszet a Mikrogeologie (EHRENBERG 1854) című monográfiából; több körcikkelyben vonultat fel növényi opálszemcséket
 Figure 2. Organische Auswürflinge der Vulkane entitled copper plate from EHRENBERG's Mikrogeologie (1854) present various forms of plant opal particles

2. táblázat A. GROB kovasejt osztályozási rendszere, amely a „Beitrage zur Anatomie der Epidermis der Gramineenblätter” c. művében jelent meg 1896-ban

Table 2. Silificated cell classification published by A. GROB in his article „Beitrage zur Anatomie der Epidermis der Gramineenblätter”

(i) Hosszú sejtek		
(ii) „hólyag” sejtek		
(iii) Rövid sejtek		
(iii)(1) Kovásodott rövid sejtek		
(iii)(1)(2) Háncszövettel (<i>phloem</i>) összefüggésbe hozható kovásodott rövid sejtek		
	Primer Típus (sok fajban gyakori)	Szekunder Típus (mindig csak 1 fajban látott)
	I. kereszt, súlyzó és csomó sejtek	VI.
	II. nyereg sejtek	VII.
	III. rizs sejtek	VIII.
	IV. kör alakú és elliptikus sejtek	IX.
	V. bot és lemez sejtek	X.
(iii)(1)(3) Farésszel (<i>xylem</i>) összefüggésbe hozható kovásodott rövid sejtek		
(iii)(1)(3)(1)	kereszt alakú sejtek	
(iii)(1)(3)(2)	<i>Olyra</i> sejtek (az <i>Olyra</i> nemzetség tagjaiban)	
(iii)(1)(3)(3)	Tövis sejtek	
(iii)(1)(3)(4)	A parenchymával összefüggésbe hozható kovásodott sejtek a <i>Pharus</i> és <i>Leptaspis</i> nemzetségekben	

forrás: GROB (1896) után módosítva

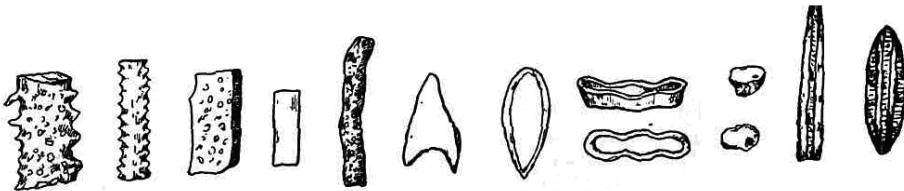
A leíró jellegű vizsgálatok mellett – korlátozott számban ugyan – megjelentek olyan művek is, amelyek már a fitolitokra és az általuk közvetített információ tartalomra alapozottan kíséreltek meg következtetéseket levonni egykori növényhasználati módszerekkel, illetve domesztikációval kapcsolatban. Az egyik, viszonylag korai mű a Kínai Földtani Társaság Bulletinjének (Bulletin of the Geological Society of China) hasábjain jelent meg (EDMAN és SÖDERBERG, 1929) a XX. század legelején. A szerzők egy megközelítőleg 5000 éves kínai településen végeztek etnobotanikai vizsgálatokat, és egy edénytöredékben talált anyagból mutatták ki a rizs (*Oryza* sp.) korabeli maradványait. SCHELLENBERG (1908) egy turkesztáni expedíció keretében vizsgálta az Anau-i ún. Északi Kurgánt, amelynek feltárási anyagából búza és árpa jelenlétét tudta bebizonyítani. Érdekes fejtegetés olvasható az Osztrák Botanikai Folyóirat (Österreichische Botanische Zeitschrift) NETOLITZKY (1914) által jegyzett értekezésében, amelyben többek között rávilágít arra a megfigyelésre, hogy a kovásodott sejtek nyomot hagynak az emberi fogzománcban, illetve a fitolitok visszanyerhetők az egyiptomi ásatásokon előkerülő múmiák és emberi leletek fogkővéről, így könnyen és sikerrel alkalmazhatóak a táplálkozástörténeti kutatásokban. Kiemeli továbbá, hogy a pontos következtetések levonását mélyreható és mindenre kiterjedő botanikai térképező munkának kell megelőznie. Az említett szerző a XX. század első harmadában publikálta azon művét, amellyel végérvényesen beírta magát a fitolitikutatás történetébe, hiszen a korabeli, K. LINSBAUER (1929) által jegyzett és Berlinben nyomtatásba

kerülő Növényanatómiai Kézikönyvben (Handbuch der Pflanzenanatomie) önálló fejezet foglalkozik az egyes növény taxonok kovatestjeivel (v.ö.: Kieselkörper) (NETOLITZKY 1929).

A botanika irányultságú kutatások egyik érdeme hogy a kor kutatóinak kíváncsisága révén sikerült feltérképezni a növényi sejtek elkovásodásának alapvető tulajdonságait, illetve az általuk létre hozott hatalmas adatbázis termékeny tudományos talajt szolgáltatott, hogy később a fitolitokat, mint környezeti indikátorokat a régészet, ökológia és öskörnyezettan sikerrel alkalmazhassa. Mindezek mellett kezdetét vette egy olyan kutatási folyamat, amely az egyes taxonok szilícium akkumulációs különbségeire, illetve ennek fitofiziológiai okaira rámutatott, bebizonyosodott, hogy a növényi opáltestecskék alaktana taxon-specifikus. A korszak munkáságának eredményeit nemcsak közlemények és leírások, hanem nagy mennyiségű rajz és fitolit alaktani vázlat képviseli.

Sajnálatos módon eredményeik jelentékeny része német nyelven jelent meg, így viszonylag hosszú időnek kellett eltelnie mire az angol nyelvű világ – ahol a fitolitkutatás módszertanát továbbfejlesztették – felfedezte és felhasználta a korábbi európai eredményeket (PIPERNO 1988).

A németországi kutatások lezárulását a második világhégés jelentette, amely után a kutatások központja először ideiglenesen orosz nyelvterületre került (Usov 1943; PARFENOVA és YARILOVA 1956; YARILOVA 1956) (3. ábra), később pedig az észak-amerikai kontinensen csapott fel a tudományos érdeklődés azon lángja, amely a növényi opálszemcsék mélyrehatóbb vizsgálatát is maga után vonta.



3. ábra Egy oroszországi talajszelvény ásványtani elemzése közben talált növényi opálszemcsék, szivacsüstke (balról a második) és diatoma váz (balszélső) vonalrajzai (YARILOVA 1956)

Figure 3. Line drawings of plant opal particles, sponge spicule (second from the left) and diatom shell (on the left) found during the mineralogical investigation of a soil profile in Russia (YARILOVA 1956)

Ökológiai-botanikai jellegű kutatások kibontakozása – Nagy-Britannia és az Egyesült Államok élenjárása

Az 1950-es évek közepe, vége jelenti azt az áttörést amikortól a nyugati világ kutatói (botanikusok, talajtudósok, agronómusok, geológusok stb.) felhasználják, beépítik környezettörténeti és ökológiai kutatási módszereik közé a fitolitelemzést. A tématerület történetével foglalkozó művek első helyen említik a korszak meghatározó botanikai tudományos műhelyének a bangori, University College of North Wales kutatóinak eredményeit és az iskola működéséhez köthető 30 évnyi publikációt (3. táblázat).

SMITHSON, miután elkészítette Észak-Wales talajainak mikromorfológiai kataszterét, (1956) közzé tett egy munkát, amelyben ugyanazon talajok biogén szilícium formáinak leírásával foglalkozik. Későbbi, meghatározó jelentőségű műveiben, a szivacsüstke

maradványok és a növényi opálszemcsék elkülönítésének módját (SMITHSON 1959; PARRY és SMITHSON 1966), illetve a „talajok vályog frakciójának mikroszkópiájá”-t, és ebben foglalva a fitolitok talajból való feltárásának és meghatározásának módszereit taglalja (PARRY és SMITHSON 1958; SMITHSON 1961). Az '50-es évek végén megjelent „Grass opal in British soils” című cikke megközelítőleg 150 különböző rajzon mutatja be a brit talajok fű fitolitjainak morfológiai jellemzőit (SMITHSON 1958). Az említett munka a talajok elemzésén túl, a vizsgálati területeken tartott állatok trágyájának fitolit kompozíciós vizsgálatára, illetve a helyszíneken domináns pázsitfűfajokra is kiterjedt.

3. táblázat Az észak-walesi Bangor iskola fontosabb kutatási területei és publikációs tevékenysége az 1950-es és '80-as évek között (POWERS 1992; MADELLA 2008; ROVNER 2008 unpub. nyomán módosítva)

Table 3. Field of researches and publications of the University of North Wels (bangor) between 1950's and 1980's (modified according to POWERS 1992; MADELLA 2008; ROVNER 2008 unpub.)

Év	Szerző	Kutatások tárgya
1956 és 1958	SMITHSON	brit talajok fitolit és szivacstüske tartalma
1957	PARRY & SMITHSON	<i>Gramineae</i> fajok levélanatómiája
1958, 1963, 1964 és 1966		<i>Nardus stricta</i> és <i>Molinia caerulea</i> fajok részletes vizsgálata, valamint és általános módszertan
1961	SMITHSON	általános módszertani kutatások
1968	BLACKMAN & PARRY	<i>Secale cereale</i>
	SANGSTER	<i>Sieglingia decumbens</i> levele
	BLACKMAN	<i>Triticum aestivum</i>
1969	SANGSTER & PARRY	<i>Oryza sativa</i> , <i>Cynodon dactylon</i> , valamint <i>Sieglingia decumbens</i> fajok bullifom sejtei
1970	SANGSTER	<i>Oryza sativa</i> , <i>Cynodon dactylon</i> , valamint <i>Sieglingia decumbens</i> fajok levélanatómiája
1971	BLACKMAN	26 Alberta-i <i>Gramineae</i> faj fitolit katasztere
1973	HAYWARD & PARRY	<i>Hordeum sativum</i>
1972, 1973	PARRY & SONI	<i>Oryza sativa</i> virágzata
1975	PARRY	<i>Oryza sativa</i> levélszilifikációja
	PARRY & KELSO	<i>Molinia caerulea</i> és <i>Sorghum bicolor</i> gyökérzete
1976	SANGSTER & PARRY	<i>Sorghum bicolor</i> gyökérzete
1977	PARRY & WINSLOW	<i>Pisum sativum</i>
	PARRY & KELSO	<i>Saccharum officinarum</i> gyökérzete
	SANGSTER	<i>Digitaria sanguinalis</i> , <i>Hordeum sativa</i>
<i>Sorghum nutans</i> , <i>Phragmites communis</i> , <i>Andropogon</i> spp. gyökerek szilifikációja		
1979	MONTGOMERY & PARRY	<i>Molinia caerulea</i> gyökérzete

3. táblázat folytatása
Contd. Table 3.

Év	Szerző	Kutatások tárgya
1980	BENNETT & PARRY	<i>Hordeum sativum</i> , <i>Avena sativa</i> , <i>Triticum aestivum</i>
	HAYWARD & PARRY	<i>Hordeum sativum</i> toklász, rügy, virágzat
1981	BENNETT & SANGSTER	<i>Sasa palmata</i>
	BENNETT & PARRY	<i>Hordeum sativum</i> , <i>Avena sativa</i> , <i>Triticum aestivum</i>
	WADHAM & PARRY	<i>Oryza sativa</i>
1982	BENNETT	<i>Hordeum sativum</i> , <i>Avena sativa</i> , <i>Triticum aestivum</i>
	BENNETT & SANGSTER	<i>Zea mays</i>
	HODSON & PARRY	<i>Setaria italica</i> virágzatának szilifikációja és annak karcinogenitása közötti kapcsolat
	HODSON, SANGSTER & PARRY	
	PARRY & HODSON	
1983	SANGSTER	<i>Phragmites australis</i> , <i>Miscanthus sacchariflorus</i> ,
1983	SANGSTER, HODSON & PARRY	<i>Phalaris</i> spp. virágzatának szilifikációja és annak karcinogenitása közötti kapcsolat
1984, 1985	HODSON, SANGSTER & PARRY	<i>Phalaris canariensis</i>
1985	PARRY, HODSON & NEWMAN	<i>Pteridium aquilinum</i>
1986	HODSON & PARRY; HODSON; HODSON & BELL	<i>Phalaris canariensis</i>
1988, 1989	HODSON & SANGSTER	<i>Triticum aestivum</i>

A bangori iskola kutatóinak nevéhez fűződik a növényi orgánumok szilifikációja és egyes abiotikus tényezők (éves és többéves klimatikus variációk, talaj pH, talaj vas- és alumínium tartalom stb.) összefüggés-vizsgálata is. Ahogy a fenti táblázat mutatja (3. táblázat) a kutatók figyelme a domesztikált pázsitfűfélék felé fordult. A korszak egyik érdekesítő vizsgálata egyes köles- (*Phalaris* spp) és muharfajok (*Setaria* spp.), illetve a saspáfrány (*Pteridium aquilinum*) opálszemcséi és a nyelőcsőrök kifejlődésének kapcsolatát boncolgatta (PARRY és HODSON 1982). A fitolitkutatók számos mikroszkópi és mikroanalitikai módszer (CORA, EPM, SEM, STEM, TEM stb.) alkalmazásával képesek voltak megadni a növényi sejt elkovásodásának élettani mechanizmusát, illetve a szilifikációs affinitás mértékét több pázsitfűfajban.

A brit szigeteken az észak-walesi tudományos műhely mellett mások is folytattak olyan növénytan-ökológiai vizsgálatot, amelyek a fitolitok világát érintették, így például a Kewben található Királyi Botanikus Kert egykori igazgatója, HUBBARD (1954) az ötvenes évek elején publikálta *Grasses* című könyvét, amelyben a pázsitfűfélék (Gramineae) opálszemcséinek osztályozását a növény család taxonómiai felosztásához kötötte.

A méltán híres botanikus, METCALFE is részletes növényi opálszemcsé osztályozást adott közre az egyszikűek szervezettanával foglalkozó művének első kötetében (1960).

METCALFE a GROB-i és GUNZ-i felosztáshoz hasonlóan alkotta meg 20 típusból álló klasszifikációját, amely rendszerben az alábbi nevezéktan felhasználásával sorolhatók be a pázsitfűfélék (*Gramineae*) levelének bórszövetében található diagnosztikus szilícium testek:

i.) hosszú és keskeny formák	xii.) kereszt alakú
ii.) köbös	xiii.) kereszt és súlyzó alak közötti átmenet
iii.) köbszerű	xiv.) súlyzó alak
iv.) kerek	a. szűk, keskeny átmeneti résszel
v.) elliptikus	b. széles átmeneti résszel
vi.) félhold alakú	xv.) megrövidített súlyzó alak
vii.) nyújtott téglalap	xvi.) súlyzó alakú, de fókusz állításával változó megjelenésű
viii.) a parasejtek alakjába illeszkedő	xvii.) noduláris (csomó alakú)
ix.) nyereg alakú	xviii.) <i>Oryza</i> típus
x.) hegyes	xix.) csipkés-nyújtott
xi.) megnyújtott sima (felületű) megnyújtott hullámos	

Az Egyesült Államokban BEAVERS és STEPHEN (1958) számolt be először a fitolitok talajbéli előfordulásáról. Fűfélék talajfeletti vegetatív és generatív részeinek éves fitolit-termelési arányát kutatták, ezzel próbálván meghatározni, hogy egyes talajok milyen hosszan képződtek erdő- vagy füvevetáció alatt. Bizonyításra került, hogy füvevetáció alatt képződött talajok biogén opál tartalma 5–10-szerese az erdővetáció alatt képződöttkéhez képest. Ezzel némileg ellentmond az a felfedezés, hogy az észak-amerikai préri-erdő átmeneti zóna és a füvevetáció által a közelmúltban meghódított erdőterületek fitolitartalma hasonló értéket mutatott (WILDING és DREES 1968, 1971).

Ebben az időszakban több kísérlet és „lelet” alapján próbálták a növényi opálszemcsék túlélését és tafonómiai jellemzőit meghatározni. Azon korabeli állítást, „tévhitet”, miszerint a fitolit szemcsék pár ezer évnél tovább nem maradnak fenn, WILDING (1967) kísérlete nem cáfolta mindenkétséget kizáróan. Radiokarbonos kormeghatározással 13000 évesnek datált egy talajból származó, fitolitban okludált szénszemcsét. Mérföldkönek számít az a zárwatermők származásával és rendszertani besorolásával foglalkozó kutatás, amelynek során észak-amerikai Miocén korú őskövületekből tudtak izolálni fitolitokat, végérvényesen bizonyítva ezzel a szóban forgó szervesetlen növényi exkrétumok időállóságát és szélsőséges mechanikai és kémiai hatásokkal szembeni ellenállóságát. Jóval később, 2005-ben további felfedezések bővítették ismereteinket arról, hogy milyen tafonómiai aspektusai lehetnek az opálszemcséknek. PRASAD et al. (2005) késő-kréta (67-65 méé) üledékben talált dinoszaurusz koprolitból mutatott ki 5 *Poaceae* fajt (valamint további kétszikű növény taxonokat), amellyel a fűfajok expanzióját a Gondwanán, India földrajzi izolációja előtti időszakra teszi.

EHRENBERG mesterséges rendszertanára építve DEFLANDRE 1963-ban, majd DUMITRICA 1973-ban fejlesztette ki és közölte új osztályozási rendszerét (PIPERNO 1988). Ezek a rendszerek már lehetőséget adtak pázsitfűféléken (*Gramineae*) belül három alcsalád (*subfamilia*) elkülönítésére. Kisebb módosításokkal ez a klasszifikáció használatos a mai napig is a fitolitkutatás egyes területein (TWISS et al. 1969). Nagy hangsúlyt fektettek kutatók a pázsitfű fitolitok alaktanának kutatására, míg egyéb fontos témakörök, mint a

részecskék háromdimenziós struktúrája, illetve méretbeli különbségei teljesen figyelmen kívül maradtak ebben az időszakban. Eddigre világossá vált, hogy a fitolitok jelenléte az egyes alcsaládokban bőséges, de nemzetség- és fajszintű határozásra nem ad alkalmat a pázsitfűfélék családjában.

Egyes kutatóműhelyekben vizsgálatok folytak kétszikű növények fitolitjain alapuló határozókulcsok elkészítésére is, így BRYDON és csapata a duglászfenyő fajok (*Pseudotsuga genus*) közötti nemzetség-specifikus fitolitokat tudott izolálni (PIPERNO 1988). Egyéb tülevelű és lombhullató fajok leveleiből, később tropikus fajok törzséből is sikerült a növényi kovaszemcséket kimutatni. LANNING (1966) több, el nem fásodó kétszikű növényt vizsgált (*Helianthus*, *Fragaria* és *Rubus spp.*), de kutatásai csak a szilícium-dioxid felhalmozódási zónáira koncentráltak, a fitolit szemcsék alakjainak összehasonlításáról és részletes leírásáról nincs adat.

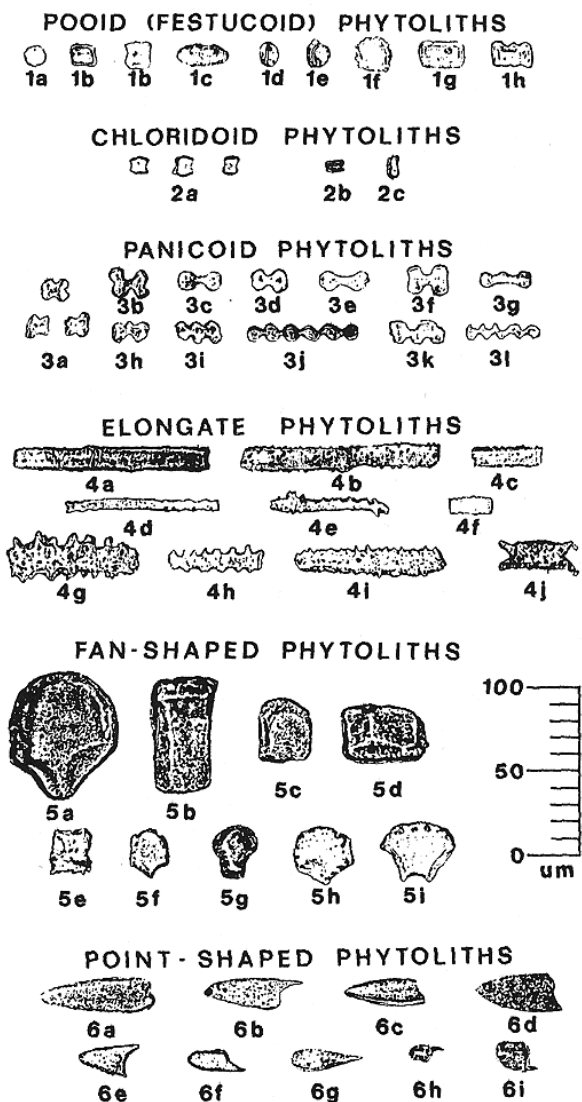
A korszakban egyre többen foglalkoztak a ma élő fűfélék fitolitjainak elektronmikroszkópos vizsgálatával, de ahogy a fenti felsorolásból is kiténik sem a botanikusok, sem a geológusok nem fejlesztettek ki egy egységes rendszert, módszertani struktúrát az ökoszisztémák kutatásokban rejlő lehetőségek kiaknázására. Mindezek ellenére nem mehetünk el szó nélkül a TWISS et al. (1969), későbbi átdolgozás: TWISS (1992) által publikált felosztás mellett, amely jó példája a történeti hagyományokra való építkezés és a modern tudományos módszerek vegyítésén alapuló rendszer kidolgozásának. Kisebb-nagyobb módosításokkal, helyi adaptációs kiegészítésekkel, de a szerzők osztályozása a mai napig érvényben van és a világ számos pontján, több tudományos műhely alkalmazza.

A szerzői hármast a Sziklás-hegységtől keletre kiüledett eolikus por származás-vizsgálata során alkotta meg – az elsődlegesen morfológiai és nem anatómiai elemeket felvonultató – osztályozási rendszerét. Ez később kiegészült a C₃-as és C₄-es fotoszintézis típusú *Gramineae* fajok levél bórszöveti különbségeinek vizsgálatával. Az átdolgozott rendszer a *Gramineae* alcsaládjainak felosztását követi, így különbséget tesz úgynevezett pooid/festucoid, chlroid, panicoid formák és egyéb korábban már bevezetett morfo-típusok között (4. ábra).

Régészeti fitolit-kutatások modern korszaka és napjaink tendenciái

Ahogy arra korábban rávilágítottunk, az egyes korszakok nem válnak el egymástól élesen, jól definiálható határokkal, hanem úttörő jellegű kutatásokat végző személyiségek köré „szerveződnek”, illetve meghatározó jelentőségű kutató munkák publikálásával, tudományos műhelyek kialakulásával hozható összefüggésbe egy-egy korszak kezdeti és végső időpontja. Régészeti, illetve ökoszisztémák interpretációra is mutattunk be példákat a korábbi korszakokból (v.ö.: pld.: EHRENBERG NETOLITZKY, SCHELLENBERG, EDMAN és SÖDERBERG munkái). Ezek a próbálkozások azonban még nélkülözték a későbbi korokban feltárt tudományos és elméleti alapokat, így – amellet hogy jelentékeny módon hozzájárultak a későbbi régészeti vonal fejlődéséhez – nem szisztematikusan használták fel a növényi opálszemcsék kínálta lehetőségeket.

A régészet tudományának érdeklődése akkor fordult a módszer felé, amikor ráébredtek annak fontosságára, hogy egyes feltárások, vizsgálatok nem szolgáltathatnak megfelelő információ tartalmú adatokat, így nem lehet választ kapni olyan égető kérdésekre, mint például egyes növényfajok domesztikációjának kezdete, vagy az adott területre történő



4. ábra Twiss et al. fitolit osztályozási rendszerének bizonyos elemei (Twiss 1992 nyomán).
 Figure 4. Certain elements of the phytolith classification system of Twiss et al. (after Twiss 1992)

- 1. a-h. pooid/festicoid morfolópus sorozat;
- 2. a-c. chloridoid morfolópus sorozat;
- 3. a-l. panicoid morfolópus sorozat;
- 4. a-j. nyújtott morfolópus sorozat;
- 5. a-i. legyező alakú (bulliform sejtek) morfolópus sorozat;
- 6. a-i. hegyes (trichoma sejtek) morfolópus sorozat

behurcolása. Elsőként azon területeken jelentkezett ez a tendencia, ahol az organikus növényi részek prezervációja alacsony. Ez vezetett odáig, hogy egy a paleoökológiában, régészetben, történeti ökológiában és egyéb interdiszciplinákban eredményesen és rutinszerűen alkalmazható módszertan kidolgozását több földrészen is elkezdték, és mára fitolitok alkalmazásának olyan széles spektrumával találkozhatunk, amelynek bemutatása nem képezheti ennek a dolgozatnak tartalmát. Mindazonáltal, a teljesség igénye nélkül ugyan, de említésszerűen bemutatásra kerülnek azok az ismertté vált tudományos műhelyek és vizsgálataik, amelyek publikálása megtörtént és eredményei nyilvánosságra kerültek.

Európa, Afrika és Közel-Kelet

A fitolit-kutatás európai fejlődéséről írt értekezésében POWERS kiemeli, hogy az európai kollegák munkája „szomorúan elmaradt” (1992) az észak-amerikai kutatók tevékenykedése mögött. Hasonlóan ír erről MADELLA (2008) is, aki ennél finomabban fogalmazva megjegyzi, hogy a kutatások fókuszsa a század közepétől alapjában véve áthelyeződött az észak-amerikai kontinensre, ahol fokozottabban alkalmazták mind a régészeti, mind az őskörnyezeti technikákat.

Mindezek ellenére, találunk óvilági tudományos műhelyeket, amelyek elmélyülten kutatták mind az európai, mind az afrikai kontinens fitolitjainak világát.

Az egyik ilyen az ún. Sheffield-i Black-Box Analog eljárás (University of Sheffield), amelynek lényege, hogy az egyes üledékminták fitolit-készletét veszik csak alapul (morfotípus analízis), figyelmen kívül hagyva a szemcsék szöveti, anatómiai származását. A több projektben is alkalmazott eljárás célja az volt, hogy összehasonlítási alapot kapjanak a modern és a régmúlt üledékek fitolit-készletei között. Az alkalmazást nemcsak Európában, hanem a Közel-Kelet is sikerrel vették be (MILLER-ROSEN 1986, 1992) az egyetem kutatói. A részben Szíriában, részben Egyiptomban végzett kísérletes kutatások fényt derítettek arra, hogy eltérés mutatkozik azonos fajok fitolit termelésében amennyiben öntözés mellett termesztik őket, így ezek meghatározásával megállapíthatóvá vált a kezdetleges öntözéses gazdálkodás elterjedésének tér- és időbeli fejlődése (MILLER 1980; MILLER-ROSEN 1994).

A XX. század utolsó harmadában kibontakozó európai iskolák (a teljesség igénye nélkül például Spanyolország – Universitat de Barcelona; Németország – Frankfurt – Johann Wolfgang Goethe-Universität, Franciaország – Université Montpellier, Nagy-Britannia – University of Cambridge, Belgium – Université Libre de Bruxelles és továbbiak.) kutatásainak egy jelentős része koncentrált az afrikai kontinensre, illetve a közel-keleti régészeti feltárásokra. Míg az afrikai kutatások elsősorban paleoökológiai, paleoklimatológiai (ALBERT et al., 2009; BARBONI et al. 1999; BONNEVILLE 1984, BREMOND et al. 2005a, 2008; RUNGE 1996, 1999; VINCENS 1999) fókuszúak, addig a közel-keletiek inkább a régészeti vonalat erősítették (ALBERT et al. 1999, 2008; ALBERT és WEINER 2000; PORTILLO et al. 2009; MADELLA et al. 2002).

Elsősorban a gazdag talajtani hagyományokra építkezve bontakoztak ki őskörnyezeti, paleotalajtani kutatások Oroszországban is, ahol az Orosz Tudományos Akadémia több kutató intézetében foglalkoznak a régészeti talajtan keretében fitolitelemzésre alapozott őskörnyezeti rekonstrukcióval (GOLYEVA et al. 1995; GOLYEVA, 1997, 2001a, 2001b; GOLYEVA és ALEXANDROVSKIY 1997; GOLYEVA és KHOKHLOVA 2003; BOBROVA és BOBROV 1997; BOBROV 2007; KAMANINA és SHOBA 1997).

Az említett országok mellett kiterjedt növénytanai és etnológiai munkák ismeretesek Görögországból is (TSARTSIDOU et al. 2007a, 2007b).

Az 1970-es és '80-as évek magyar növénytanai irodalmában több utalást is találunk a növények kova-sejtjeivel kapcsolatban (SZ-BORSOS 1974). HARASZTY (1979) például a pázsitfűvek nagy kovaakkumulációs képességét emeli ki, de nem használja még a fitolit kifejezést.

A Balatonmagyaród-Hidvégszta késő bronzkori halomsíros kultúra (i. e. 1200) hulladékgyűjteményéből származó ételmaradványok makro- és mikroszkópos archaeobotanikai vizsgálatai fitolit-kutatási szempontból sikeres eredményekkel zárultak. A vizsgálatok alapján bizonyítást nyert a korai búza- és kölesliszt használata (GYULAI 1993, 1996). A későbbi hazai kutatások őskörnyezeti rekonstrukciós célokat fogalmaztak meg. A kutatások egyik előfutárnak tekinthetjük azt az Endrőd környéki ásást, amelynek anyagán amerikai kutatók végeztek fitolit elemzést (ROVNER személyes közlés). Később több temetkezési halom és telltelep paleoökológiai kutatásában került sor fitolitelemzés alkalmazására (PETŐ 2007, PETŐ és BUCSI 2008, BARCZI et al. 2009).

Az európai kontinens tudományterületen belül betöltött szerepét, és igyekezetét jól jellemzi az a tény, hogy a világ fitolit kutatóit egyesítő Society of Phytolith Research két évente megrendezésre kerülő szakmai fórumai (Biannual International Meeting for Phytolith Research) – egy kivétellel – mind európai városokban (Madrid 1996, Aix en Provence 1998, Bruxelles 2000, Cambridge 2002, Moszkva 2004, Barcelona 2006) kerültek megrendezésre.

Észak-Amerika

Ellentétben a fent idézett európai szerzőkkel PEARSELL (2000), az észak-amerikai kontinens fitolitikus kutatásával foglalkozó történeti áttekintését az alábbi megjegyzéssel kezdi: „[...] ellentétben az Új Világgal ezek a technikák az Óvilágban számottevő múltra tekintenek vissza”. A paleoökológiai vizsgálódások iránti fokozott érdeklődés kibontakozását ROVNER 1971-es cikkétől számítják, amelyben a növényi opál fitolitikus ökoszisztémái rekonstrukciójában betöltött szerepéről értekezett. A '60-as, '70-es és '80-as évek Amerikája a talajtan fitolitikus kutatások kibontakozásának időszakát, míg a '90-es évek tudományos érdeklődése inkább a régészeti fitolitikus vizsgálatok felé fordul.

A fentebb említett első időszak elején – hasonlóan az oroszországi példákhoz, ahol a sztyepp-erdő vegetációs transzformáció állt a kutatások előterében – a préri-erdő változások felderítésébe fektettek nagy energiát. CARBONE (1977), a Virginia állambeli Shenandoah-völgyben feltárt kultúrrétegeket, paleo- és modern talajt magában foglaló szelvényt vizsgált. Eredményei arra engedtek következtetni, hogy a legidősebb réteg idején a modernhez hasonló erdei vegetáció uralta a tájat, majd több esetben is a préri uralomra jutása következett be a 12 000 BP és 5 000 BP közötti intervallumot reprezentáló időszakban.

Nebraszkai és coloradoi területeket paleoklimáját vizsgálva LEWIS (1978, 1981) a csapadékeloszlást tudta rekonstruálni az üledék- és talajminták panicooid és chloridoid morfortípusok fluktuálási rátája és arányai alapján.

Ahogy azt a dél-amerikai példák is jól mutatják (lásd később) az Újvilág gabonáinak fitolitikus által történő meghatározása kötötte le a kutatók egy részének figyelmét. A kukorica (*Zea mays*) minden kétséget kizáró meghatározására PEARSELL (1978, 1982) az ún. cross-shape sized technikát, míg PIPERNO (1984) egy 3D metóduson alapuló morfometrikus módszert fejlesztett ki. A kukorica mellett a rizs (*Oryza sativa*) került még a kutatások homlokterébe, amelynek bulliform sejtjeit használták fel a domesztikáció időpontjának meghatározásához.

A paleoökológiai eszköztár harmonikus és additív alkalmazásának egyik észak-amerikai iskolapéldája egy vizsgálat sorozat, amelynek eredményeképpen megszületett Kansas állam paleo- és moderntalaj fitolitikus és pollen katasztere (KURMANN 1985). A felméréssel bizonyosságot nyert, hogy a két „versengő” tudományterület együttes alkalmazása jelentékeny módon járul hozzá az ökoszisztémái rekonstrukció pontosabbá tételéhez.

Az egyikük opál testecskéinek biológiáját és a társtudományok módszertanába való illesztésének lehetőségeit tárgyalta fiatal áttekintő tanulmányában PRYCHID et al. (2003). BALL et al. (1993) a *Triticum monococcum* fitolitikus morfológiai méréseken alapuló leírását és tipológiáját adta meg, amellyel kísérletet tett arra, hogy az emberi szem tévedéseit egy képelemző automatika bevonásával csökkentse.

Dél-Amerika

A déli féltekén a növényi opálszemcsék kutatásainak központja kétségkívül Dél-Amerikához, azon belül is Argentínához köthető, már csak azért is, mert gyökerek egészen EHRENBURG és DARWIN kapcsolatáig nyúlnak vissza. Az első szisztematikus vizsgálódás JOAQUÍN FRENGUELLI nevéhez fűződik, aki harmad- és negyedidőszaki üledékeket vizsgálva számol be a növényi opálszemcsék nagy variabilitásáról (ZUCOL et al. 2008). Szintén az argentin pamppal talajaink és üledékeink vizsgálatával foglalkozott TERUGGI (ZUCOL et al. 2008). Az említett tudósok szemléi örökségére támaszkodva kezdte meg munkásságát HETTY HERTOLDI DE POMAR, akit művei nemcsak a dél-amerikai kontinens legelismertebb és legolvasottabb fitolitikusávé tettek, de amelyekből a kontinensen kívüli fiatal kutatók is életre szóló inspirációt merítettek (ROVNER személyes közlés). Két legfontosabbnak tartott műve az 1971-ben publikált, „Ensayo de clasificación morfológica de los silicofitolitos” című (BERTOLDI DE POMAR 1971), illetve az argentin fitológia legmagasabb szintéziséként emlegetett „Los silicofitolitos. Sinopsis de su conocimiento” (BERTOLDI DE POMAR 1975) címet viselő monográfiája. Mára több iskola működik Argentína szerte, amelyek sikerrel alkalmazzák a fitolitelemzést, mind a paleoökológia (OSTERRIETH 2001a, 2001b, 2007; OSTERRIETH et al. 2009), mind a botanika (MONTI et al. 2009, HONAINÉ et al. 2006), vagy régészet területén (KORSTANJE és BABOT 2007, 2008).

Braziliából, a tropikus szavanna (cerrado ecoregion) pázsitfűféléinek fitolitikus előszőr DA SILVA és LABOURIAU (1970) számolt be, később LABOURIAU a brazil földön elvégzett kutatások rövid összefoglalását adta közre a Phytolitharien hasábjain (1983). Az említett brazil származású tudósok mellett PIPERNO (1997), valamint PIPERNO és BECKER (1996) jelentkezett az amazóniai területek érintő tájfejlődési és ökoszisztémái rekonstrukciós vizsgálatokkal.

Kolumbiában a Cauca folyó völgyében a spanyol hódítások előtti társadalmak régészeti anyagán végzett RAMÍREZ RÍOS et al. (2005, 2008) táplálkozástörténeti elemzéseket. A völgy modern növényzetéből készített referenciagyűjteményét a sirokból előkerült leletekről nyert fogkö (calculus dentis) eredményeivel hasonlította össze.

Csile vidékeiről ezidáig kevés fitolitikus vizsgálati eredmény ismeretes (ZUCOL et al. 2008), ennek ellenére egy Atacama-sivatagban lefolytatott régészeti projektben PLANELLA és McROSTIE (2005, 2006) alkalmazott fitolitelemzést is.

Hasonlóan az argentin viszonyokhoz, Ekvádorban is jelentékeny kutatási projektek zajlottak a XX. század utolsó harmadában. Ez többek között Dolores R. PIPERNO és Deborah M. PEARSALL tudósoknak köszönhető, akik munkásságuk jelentős hányadát a kukorica (*Zea mays*) és egyéb, Dél-Amerikában termesztett növényfajok, származásával kapcsolatos rejtélyek feltárásának szánták. Publikációk (PEARSALL 2002; PIPERNO 1984; PIPERNO és PEARSALL 1993, 1998) és könyvek (PEARSALL 2000; PIPERNO 1988, 2006) sorozata foglalkozik – sok vitát kavart – felvetésükkel, amely szerint a *Zea* nemzetség fajai több mint 7000 évvel ezelőtt kerültek a Dél-Amerikai kontinensre. Szintén Ekvádorhoz és Dolores R. PIPERNO munkásságához köthetők a *Cucurbita* fajok domesztikációjára vonatkozó elméletek fitolitelemzésre alapozott kidolgozása is (PIPERNO és STOTHERT, 2000).

Peruból elsőként az ún. Kotosh régészeti lelőhely fitolit vizsgálati eredménye kapott nagyobb tudományos publicitást, amelyet egy tokiói kutató, MATSUTANI (1972) tett közzé. Ezek után elsősorban őskörnyezettani tanulmányok láttak napvilágot, amelyek nagy része tér- és időbeli klímaváltozásokkal és ehhez köthetően a panicoid/chloridoid és pooid/festucoid morfortípusú fitolitok arányváltozásaival foglalkoztak (CHEVALIER 2008).

Uruguayban paleolimnológiai kutatásokban használták fel a fitolit- és biomorfelemzés nyújtotta előnyöket (DEL PUERTO et al. 2008), amelyek célja, hogy a Holocénbeli klíma- és vegetációs változások korábban megrajzolt szcenárióját pontosítsák (DEL PUERTO et al., 2006). Hasonlóan a többi dél-amerikai országhoz, Uruguayban is széleskörben alkalmazzák a régészeti, illetve agrártörténeti kutatásokban a fitolitelemzés módszerét (IRIARTE 2003; IRIARTE és PAZ 2009).

Mexikóban, az egykori azték fővárosban, Teotihuacánban végeztek őskörnyezet rekonstrukciós vizsgálatot annak felderítésére, hogy a klíma változása összefüggést mutat-e a kultúra fejlődésének stádiumaival (MCCLUNG DE TAPIA et al. 2008). Ezt a C₃-as és C₄-es fotoszintézis típusú növényfajok fitolitjaira alapozott, ún. ariditási indexek létrehozásával kísérelték meg.

Ázsia

Az oroszországi kutatások mellett Indiában, Kínában és Japánban működnek olyan tudományos műhelyek, amelyek rendszeresen jelentkeznek fitolitikutatói eredményekkel.

Indiában a Deccan College-ban működő Régészeti Tanszéken folynak vizsgálatok, amelyek – hasonlóan a dél-amerikai trendekhez – a kontinensen kívülről bekerült növényfajok vándorlási útvonaltát és bekerülési időpontját kívánják tisztázni (MISRA és KAJALE 2003; EKSBAMBEKAR és KAJALE 2007; KAJALE és EKSBAMBEKAR 2007).

A korábban bemutatott EDMAN és SÖDERBERG (1929) cikk is, már a rizs növényvel foglalkozik, így nem meglepő, hogy a kínai fitolitikutatók jelentős része a vad és háziastított rizsformák elkülönítésén dolgozott (ZHENG et al. 2003; ITZSTEIN-DAVEY et al. 2007). Emellett találunk apró részletekbe menő morфомetriai kutatásokat (LU és LIU 2003). Egy érdekesítő munka a növényi opátestekbe záradott szénzemesék izotópos vizsgálatát használja fel. A módszer lényege, hogy az erdő, illetve füves vegetáció által termelt fitolitik szénizotópos összetételének különbségei jó indikátorai az egykori környezeti viszonyoknak (LÜ et al. 2000).

Japánban KANNO és ARIMURA (1958) jelentkezett először fitolitikokkal kapcsolatos eredményekkel, később WATANABE számolt be a Japán szigetvilág különböző pontjain előkerült prehisztorikus rizs és a cirok leletekről (1968 1970). A botanikai/növényélettani vizsgálatot végző kelet-ázsiai tudósok OKUDA és TAKAHASHI (1964) szintén a rizzsel, de annak szilícium akkumulációs képességével foglalkoztak. Vizsgálatai során megállapítást nyert, hogy a rizsrügy szállítószövetébe történő kovásv beoldódás egy meghatározott koncentrációgrádiens mentén történik, amely korábbi vizsgálati eredményekkel (részben) ellentmondott.

Délkelet-Ázsia korai agrikultrúráját rekonstruálta, illetve a térség flórájának fitolit kataszterét készítette el KEALHOFFER és PIPERNO (1994, 1998).

Ausztrália, Új-Zéland, Mikronéziai szigetvilág, és az Antarktisz

Az ausztrál kontinensről ismert első közlemények közül való BAKER (1959) munkája, amely több talajtípus és ún. vörös esők maradványainak (v.ö.: EHRENBURG és DARWIN kutatásai) mikroszkópi vizsgálatát adja közre.

HORROCKSETAL. (2003), FULLAGARETAL. (2006), illetve HORROCKS és LAWLOR (2006) végzettterjedésvizsgálatokat a *Colocasia esculenta*val kapcsolatban (magyar nevén Hasznos táró) új-zélandi, illetve Pápua Új-Guinea-i területeken. Céljuk elérésének érdekében komplex mikropalaeontológiai megközelítést alkalmaztak, amely magában foglalta a fitolit, pollen, keményítő és diatoma maradványok együttes vizsgálatát.

Egy Ausztráliában végzett kutatás során HART és HUMPHREYS (1997) különböző talajtípusok fitoliteloszlását vizsgálta. A kutatók többek között arra keresték a választ, hogy az ún. 'statikus' vagy 'dinamikus fitolit hipotézis' igaz-e. A New South Wales állambeli erősen bioturbált, vékony [E]-szinttel rendelkező és jól fejlett oszlopos szerkezettel bíró szolonyecéktől, valamint podzoloktól várták a választ. A szolonyecékben a fitolitok mindenesetben az [A]-szintben mutattak felhalmozódást, majd csökkenő tendenciát a szelvényben. Ugyan a talajfauna aktivitás nagymértékűnek mutatkozott, a szerzők csak közvetlen kapcsolatot véltek felfedezni a fitolitok vertikális elmozdulása és az állatok tevékenysége között. Mikromorfológiai vizsgálatokkal kiegészítve

kutatásaikat arra a megállapításra jutottak, hogy a fitolitok és diatomavázak az állatjártatok és nagyobb pórusok mentén mozognak a víz hatásának köszönhetően. Az újrarendeződésük is elsősorban vízmozgás, és csak másodsorban a bioturbáció következménye.

Paleozoikumból származó növényi opálszemcsékről számolt be 1999-ben egy ausztrál kutató, aki az Antarktiszon végzett vizsgálatok közben devoni és perm kőzetanyagból tudott opálszemcséket feltárni, amelyek az egykori Godwana flórájának hirmondói (Carter 1999).

A növényi opálszemcsék kutatásának közel 180 éves történelme több helyszínen íródott. Európa világotudós és korszakalkotó tudósainak kezdeti munkáira az USA tudományos világa építkezett. A XX. század utolsó harmadától már kiegyenlítettebb a kép. A kezdeti bizonytalan lépések, és a rendszeres leíró kutatások gazdag elméleti alapot szolgáltatottak arra, hogy ezek a növényekben termelődő, szervesen mikrotestcskékké fontos eszközévé váljanak a környezetregészet, az őskörnyezettan és a történeti ökológia tudományának.

Irodalom

- ALBERT R. M., BAMFORD M. K., CABANES D. 2009: Palaeoecological significance of palms at olduvai Gorge, Tanzania, based on phytolith remains. (Perspectives on Phytolith Research: 6th International Meeting on Phytolith Research) *Quaternary International* 193: 41–48.
- ALBERT R. M., LAVI O., ESTROFF L., WEINER S., TSATSKIN A., RONEN A., LEV-YADUN S. 1999: Mode of occupation of Tabun Cave, Mt Carmel, Israel During the Mousterian Period: A study of sediments and Phytoliths. *Journal of Archaeological Science* 26: 1249–1260
- ALBERT R. M., SHAHACK-GROSS R., CABANES D., GILBOA A., LEV-YADUN S., PORTILLO M., SHARON I., BOARETTO E., WEINER S. 2008: Phytolith-rich layers from the Late Bronze and Iron Ages at Tel Dor (Israel): mode of formation and archaeological significance. *Journal of Archaeological Science* 35: 57–75
- ALBERT R.M., WEINER S., BAR-YOSEF O., MEIGNEN L. 2000: Phytoliths in the Middle Palaeolithic Deposits of Kebara Cave, Mt Carmel, Israel: Study of the Plant Materials used for Fuel and Other Purposes. *Journal of Archaeological Science* 27: 931–947.
- BALL T. B., BROTHERTON J. D., GARDNER J.S. 1993: A typological and morphometric study of variation in phytoliths from Einkorn wheat (*Triticum monococcum* L.). *Canadian Journal of Botany* 71: 1182–1192.
- BAKER G. 1959: Opal phytoliths in some Victorian soils and red rain residues. *Australian Journal of Botany* 7: 64–87.
- BARBONI D., BONNEFILLE R., ALEXANDRE A., MEUNIER J-D. 1999. Phytoliths as palaeoenvironmental indicators, West Side, Middle Awash Valley, Ethiopia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 152: 87–100.
- BARCZI A., GOLYEVA A. A., PETŐ. Á. 2009: Paleoenvironmental reconstruction of Hungarian kurgans on the basis of the examination of paleosoils and phytolith analysis. *Quaternary International* 193: 49–60. Perspectives on Phytolith Research: 6th International Meeting on Phytolith Research.
- BEAVERS A. H., STEPHEN, I. 1958: Some features of the distribution of plant-opal in Illinois soil. *Soil Science* 86: 1–5
- BERTOLDI DE POMAR H. 1971: Ensayo de clasificación morfológica de los silicofitolitos. *Ameghiniana* 8: 317–328.
- BERTOLDI DE POMAR H. 1975: Los silicofitolitos. Sinopsis de su conocimiento. *Darwiniana* 19: 173–206.
- BLINNIKOV M. 2008: Phytolith analysis in limited paleoenvironmental contexts: AAA (Arctic, alpine or aquatic). 7th International Meeting on Phytolith Research – 4th South American Meeting on Phytolith Research. Book of Abstracts, p. 4.
- BOBROVA E., BOBROV A. 1997: Phytoliths in soils: Species composition, distribution along a soil profile, and value as environmental indicators. In: PINILLA A., JUAN-TRESSERAS J., MACHADO M. J. (eds.): *Monografías del centro de ciencias medioambientales, CSCI (4), The state of-the-art of phytoliths in soils and plants*, Madrid, p. 5–13.
- BOBROV A. 2007: Phytoliths and micropalaeontological data in a boggy soil. In: MADELLA M., ZURRO D. (eds.): *Plants, People and Places, Recent Studies in Phytolith Analysis*. Oxbow Books, Oakville, p. 155–164.
- BONNEFILLE R. 1984: Palynological Research at Olduvai Gorge. *National Geographic Society Research Reports* 17: 227–243.
- BREMOND L., ALEXANDRE A., HÉLY, C., GUIOT, J. 2005: A phytolith index as a proxy of tree cover density in tropical areas: Calibration with Leaf Area Index along a forest-savanna transect in southeastern Cameroon. *Global and Planetary Change* 45: 277–293.
- BREMOND L., ALEXANDRE A., WOOLLER M. J., HÉLY, C., WILLIAMSON D., SCHÄFER P. A., MAJULE A., GUIOT, J. 2008: Phytolith indices as proxies of grass subfamilies on East African tropical mountains. *Global and Planetary Change* 61: 209–224.

- CARBONE V. A. 1977: Phytoliths as paleoecological indicators. *Annals of the New York Academy of Science* 288: 194–205.
- CARTER J. A. 1999: Late Devonian, Permian and Triassic Phytoliths from Antarctica. *Micropaleontology* 45: 56–61.
- CHEVALIER A. 2008: Early Holocene Human Adaptation in th Central Andes: What the Phytoliths Can Tell Us? In: KORSTANJE M.A., BABOT M. DEL P. (eds.): *Matices Interdisciplinarios en Estudios Fitolíticos y de Otros Microfósiles*. BAR International Series 1870. p. 134–148.
- DARWIN C. R. 1845a: An account on the fine dust which often falls on vessels in the Atlantic Ocean. *Quarterly Journal of the Geological Society of London* 2: 26–30.
- DARWIN C. R. 1845b: Journal of Researches into the Natural History and Geology of the countries visited during the voyage of H.M.S. Beagle round the World, under the Command of Captain Fitz Roy, R.A., Second edition, corrected, with Additions. London, John Murray, Albemarle Street.
- DA SILVA S. T., LABOURIAU L. G. 1970: Corpos silicosos do gramineas dos Cerrados. III. *Pesquisas Agropecuarias Brasileiras* 5: 167–182.
- DEL PUERTO L., GARCÍA-RODRÍGUEZ F., INDA H., BRACCO R., CASTINEIRA C., ADAMS J. B. 2006: Paleolimnological evidence of Holocene climatic changes in Lake Blanca, souther Uruguay. *Journal of Paleolimnology* 36: 155–163.
- DEL PUERTO L., INDA H., GARCÍA-RODRÍGUEZ F. 2008: Reconstrucción Paleoambiental para el Holoceno Medio y Tardío en la Cuenca de la Laguna Negra: el Aporte de los Indicadores Biosilíceos. In: KORSTANJE M.A., BABOT M. DEL P. (eds.): *Matices Interdisciplinarios en Estudios Fitolíticos y de Otros Microfósiles*. BAR International Series 1870. p. 119–131.
- DUNCAN P.M. 1877: Anniversary address of the president. *Quarterly Journal of the Geological Society of London* 13: 56–60.
- EDMAN G., SÖDERBERG E. 1929: Auffindung von Reis in einer Tonscherbe aus einer etwas fünftausendjährigen Chinesischen Siedlung. *Bulletin of the Geological Society of China* 8: 363–365
- EHRENBERG C. G. 1841: Über Verbreitung und Einfluss des mikroskopischen Lebens in Sud- und Nordamerika. *Monatsberichte der Koniglich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin*: 139–141.
- EHRENBERG C. G. 1845: On the muddy deposits at the mouths and deltas of various rivers in Northern Europe, and infusorial animalcules found in those deposits. *Quarterly Journal of the Geological Society of London* 1: 251–257.
- EHRENBERG C. G. 1849: Passatstaub un Blutregen: ein grosses organisches unsichtbares Wirken und Leben in der Atmosphere/von Christian Gottfried Ehrenberg; vorgetragen in der Konigl. Preuss. Akademie der Wissenschaft zu Berlin vom 23 Mai 1844 bis 1849. *Königlichen Academie der Wissenschaften, Berlin, Abhandlung der Akademie* (1849). p: 269–460.
- EHRENBERG C. G. 1851: On the tchornoi zem of Russia. *Quarterly Journal of the Geological Society of London* 7: 112–113.
- EHRENBERG C. G. 1854: Mikrogeologie: das Erden und Felsen schaffende Wirken des unsichtbar kleinen selbständigen Lebens auf der Erde. Leipzig, Leopold Voss. p. 374
- EKSAMBAKAR S. P., KAJALE M. D. 2007: Microstratigraphy of an early Historic refuse pit: a phytological approach. In: MADELLA M., ZURRO D. (eds.): *Plants, People and Places, Recent Studies in Phytolith Analysis*. Oxbow Books, Oakville, p. 110–117.
- FULLAGAR R., FIELD J., DENHAM T., LENTFER C. 2006: Early and mid Holocene tool-use and processing of taro (*Colocasia esculenta*), yam (*Dioscorea* sp.) and other plants at Kuk Swamp in the highlands of Papua New Guinea. *Journal of Archaeological Science* 33: 595–614.
- GOLYEVA A. A., ALEXANDROVSKIY A. L., TSELISHCHEVA, L. K. 1995: Phytolithic analysis of Holocene Paleosoils. *Eurasian Soil Science*, 27(2): 46–56.
- GOLYEVA A.A. 1997: Content and distribution of phytoliths in the main types of soils in Eastern Europe. In: PINILLA A., JUAN-TRESSERAS J., MACHADO M. J. (eds.): *Monografías del centro de ciencias medioambientales, CSCI (4), The state-of-the-art of phytoliths in soils and plants*, Madrid, p. 15–22.
- GOLYEVA A. A. 2001a: Biomorphic analysis as a part of soil morphological investigations. *Catena* 43: 217–230.
- GOLYEVA A. A. 2001b: *Phytoliths and their information role in natural and archeological objects* (in Russian and partly in English). Moscow, Syktyvar Elista, p. 200
- GOLYEVA A.A., ALEKSANDROVSKIY A. L. 1997: Studies of phytoliths in Moscow cultural layers. In: PINILLA A., JUAN-TRESSERAS J., MACHADO M. J. (eds.): *Monografías del centro de ciencias medioambientales, CSCI (4), The state-of-the-art of phytoliths in soils and plants*, Madrid, p.205–209.
- GOLYEVA A. A., KHOKHLOVA O. S. (2003): Biomorphic indicators of human-induced transformation of soils under early nomad burial mounds in southern Russia. *Revistas Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 20, núm. 3: p.283–288.

- GORBUSHINA A. A., KORT R., SCHULTE A., LAZARUS D., SCHNETGER B., BRUMSACK H.-J., J. BROUGHTON W. J., FAVET J. 2007: Life in Darwin's dust: intercontinental transport and survival of microbes in the nineteenth century. *Environmental Microbiology* 9: 2911–2922.
- GROB A. 1896: Beiträge zur Anatomie der Epidermis der Gramineenblätter. *Bibliotheca Botanica* 36: 1–63.
- GYULAI F. 1993: Environment and Agriculture in Bronze Age Hungary. *Archaeolingua*, Budapest, 59 p.
- GYULAI F. 1996: Balatonmagyaród-Hídvégpuszta késő bronzkori település növényleletei és élelmiszermaradványai (Die Pflanzenfunde und Lebensmittelreste aus der spätbronzezeitlichen Siedlung von Balatonmagyaród-Hídvégpuszta). *Zalai Múzeumok* 6, 169–195.
- HARASZTY Á. (szerk.) 1979: Növényyszervezetten és növényélettan. Tankönyvkiadó, Budapest, p. 798
- HART D. M., HUMPHREYS G.S. 1997: The mobility of phytoliths in soils; pedological considerations. In: PINILLA A., JUAN-TRESSERAS J., MACHADO M. J. (eds.): *Monografías del centro de ciencias medioambientales, CSCI (4), The state-of-the-art of phytoliths in soils and plants*, Madrid, p.93–100.
- HONAINÉ M. F., ZUCOL A. F., OSTERRIETH M. L. 2006: Phytolith Assemblages and Systematic Associations in Grassland Species of the South-Eastern Pampean Plains, Argentina. *Annals of Botany* 98: 1155–1165.
- HORROCKS M., IRWIN G. J., MCGLOONE M. S., NICHOL S. L., WILLIAMS L. J. 2003: Pollen, Phytoliths and Diatoms in Prehistoric Coprolites from Kohika, Bay of Plenty, New Zealand. *Journal of Archaeological Science* 30: 13–20
- HORROCKS M., LAWLOR I. 2006: Plant microfossil analysis of soils from Polynesian stonefields in South Auckland, New Zealand. *Journal of Archaeological Science* 33: 200–217.
- HTTP1: http://en.wikipedia.org/wiki/Christian_Gottfried_Ehrenberg
- HTTP2: http://en.wikipedia.org/wiki/Alexander_von_Humboldt
- HUBBARD C. E. 1968: Grasses. Harmondsworth, Penguin Books, pp. 463
- IRIARTE J. 2003: Assessing the feasibility of identifying maize through the analysis of cross-shape size and tridimensional morphology of phytoliths in the grasslands of Southeastern South America. *Journal of Archaeological Science* 30: 1085–1094.
- IRIARTE J., PAZ E. A. 2009: Phytolith analysis of selected native plants and modern soils from southeastern Uruguay and its implications for paleoenvironmental and archaeological reconstruction. (Perspectives on Phytolith Research: 6th International Meeting on Phytolith Research) *Quaternary International* 193: 99–123.
- ITZSTEIN-DAVEY F., TAYLOR D., DODSON J., ATAHAN P., ZHENG H. 2007: Wild and domesticated forms of rice (*Oryza* sp.) in early agriculture at Qingpu, lower Yangtze, China: evidence from phytoliths. *Journal of archaeological Science* (in press)
- KRUMBEIN W. E. 1995: Gone with the wind – a second blow against spontaneous generation. In memoriam, Christian Gottfried Ehrenberg (1795–1876). *Aerobiologia* 11: 205–211.
- LABOURIAU L. G. 1983: Phytolith work in Brazil: a minireview. *The Phytolitharian Newsletter* 2: 6–10.
- LANNING F. C. 1966: Silica and calcium deposition in the tissues of certain plants. *Advancing Frontiers of Plant Science* 13: 55–66.
- LAZARUS D. B. 1998: The Ehrenberg Collection and its curation. In Christian Gottfried Ehrenberg (1795–1876): The Man and His Legacy. WILLIAMS D.M., and HUXLEY R. (eds). New York, USA: Special Publication of the Linnean Society, Academic Press, pp. 31–48.
- LEWIS R. O. 1978: Use of opal phytoliths in paleo-environmental reconstruction. *Wyoming Contributions to Anthropology* 1: 127–132.
- LEWIS R. O. 1981: Use of opal phytoliths in paleo-environmental reconstruction. *Journal of Ethnobiology* 1: 175–181
- LINSBAUER K. (ed.) 1929: *Handbuch der Pflanzenanatomie*. Berlin, Gebrüder Bonträger.
- LU H., LIU K. B. 2003: Morphological variations of lobate phytoliths from grasses in China and the south-eastern United States. *Diversity and Distributions* 9: 73–87.
- LÜ H., WANG Y., WANG G., YANG H., ZHEN L. 2000: Analysis of carbon isotope in phytoliths from C3 and C4 plants and modern soils. *Chinese Science Bulletin* 45: 1804–1807.
- KAJALE M. D., EKSAMBAKAR S. P. 2007: Phytolith analytical study on a Late Chalcolithic – Early Historical archaeo-stratigraphical sequence from Balathal, South Rajasthan, India. In: MADELLA M., ZURRO D. (eds.): *Plants, People and Places, Recent Studies in Phytolith Analysis*. Oxbow Books, Oakville, p. 118–134.
- KAMANINA I. Z., SHOBA A. 1997: The phytoliths analysis applied to soils of complex formation and paleosoils. In: PINILLA A., JUAN-TRESSERAS J., MACHADO M. J. (eds.): *Monografías del centro de ciencias medioambientales, CSCI (4), The state-of-the-art of phytoliths in soils and plants*, Madrid, p. 33–43.
- KANNO I., ARIMURA S. 1958: Plant opal in Japanese Soils. *Soil and Plant Food* 4: 62–67.

- KEALHOFER L., PIPERNO D. R. 1994: Early agriculture in Southeast Asia: Phytolith analysis evidence from the Bang Pakong Valley, Thailand. *Antiquity* 68: 564–572.
- KEALHOFER L., PIPERNO D.R. 1998: Opal phytoliths in Southeast Asian flora. *Smithsonian Contributions to Botany*, No. 88.
- KORSTANJE M. A., BABOT M. DEL P. (eds.) 2008: Matices Interdisciplinarios en Estudios Fitolíticos y de Otros Microfósiles. BAR International Series 1870.
- KORSTANJE M. A., BABOT M. DEL P. 2007: Microfossils characterization from south Andean economic plants. In: MADELLA M., ZURRO D. (eds.): *Plants, People and Places, Recent Studies in Phytolith Analysis*. Oxbow Books, Oakville, p. 41–72.
- KURMANN M. H. 1985: An opal phytolith and palynomorph study of extant and fossil soils in Kansas (U.S.A.). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 49: 217–235
- MADELLA M. 2008: The „stones from plants”: A review of phytolith studies and classification in Europe, Asia and North America. In: ZUCOL A.F., OSTERRIETH M.L., BREA M. (eds.): *Fitolitos estados actual de su conocimiento en America del Sur*. Universidad Nacional de Mar del Plata, p. 23–39
- MADELLA M., JONES M. K., GOLDBERG, P., GOREN Y., HOVERS E. 2002: The Exploitation of Plant Resources by Neanderthals in Amud Cave (Israel): The Evidence from Phytolith Studies. *Journal of Archaeological Science* 29: 703–719.
- MATSUTANI A. 1972: Spodogrpchic analysis of ash from the Kotosh site. In: IZUMI S., TERADA K. (eds.): *Andes 4: Excavations at Kotosh, Peru, 1963 and 1966*. pp. 319–326. University of Tokyo Press, Tokyo
- McLUNG DE TAPIA E., CABADAS-BÁEZ H., VALLEJO-GÓMEZ E., GAMA-CASTRO J., SOLLEIRO-REBOLLEDO E., SEDOV S. 2008: Phytoliths as indicators of Paleosols and Grassland Vegetation in the Teotihuacan Valley, Mexico. In: KORSTANJE M.A., BABOT M. DEL P. (eds.): *Matices Interdisciplinarios en Estudios Fitolíticos y de Otros Microfósiles*. BAR International Series 1870. p. 67–74.
- METCALFE C. R. 1960: *Anatomy of the monocotyledons. Vol. I. Gramineae*. Oxford University Press, Oxford at the Clarendon Press, pp. 731
- MILLER, A. 1980: Phytoliths as indicators of farming techniques. paper presented at the 45th Annual Meeting of the Society for American Archaeology, Philadelphia
- MILLER-ROSEN, A. 1992: Preliminary identification of silica skeletons from Near Eastern archaeological sites: an anatomical approach. In: RAPP, JR.G., MULHOLLAND S. C. (eds.): *Phytolith Systematics: Emerging issues*. Advances in archaeological and museum sciences, Vol. 1., Plenum Press, New York. p. 129–147.
- MILLER-ROSEN, A. 1986: Cities of clay: the Geoarchaeology of Tells. Univ of Chicago Press, pp. 280
- MILLER-ROSEN, A. 1994: Identifying ancient irrigation: a new method using opaline phytoliths from Emmer wheat. *Journal of Archaeological Science* 21: 125–132.
- MISRA V. N., KAJALE M. D. (eds.) 2003: Introduction of African Crops into South Asia. *Indian Society for Prehistoric and Quaternary Studies – ISPOQS Monography Series No. 3.*, pp.143
- MONTE L., HONAINÉ M. F., OSTERRIETH M. L., RIBIERO D. G. 2009: Phytolith analysis of *Chusquea ramosissima* Lindm. (Poaceae: bambusoideae) and associated soils. (Perspectives on Phytolith Research: 6th International Meeting on Phytolith Research) *Quaternary International* 193: 80–89.
- MULHOLLAND S. C., RAPP JR. G. 1992: Phytolith systematics: An introduction. In: RAPP, JR.G., MULHOLLAND S.C. (eds.): *Phytolith Systematics: Emerging issues*. Advances in archaeological and museum sciences, Vol. 1., Plenum Press, New York. p. 1–13.
- NETOLITZKY F. 1914: Anatomische Beobachtung an Zerealienfrüchten. *Österreichische Botanische Zeitschrift*. LXIV Nr. 7. p 265–272.
- NETOLITZKY F. 1929: Die Kieselkörper. In: LINSBAUER K. (ed.) 1929: *Handbuch der Pflanzenanatomie* 3/1a: p. 1–19 Berlin, Gebruder Bonträger.
- OKUDA A., TAKAHASHI E. 1964: The role of silicon. The Mineral Nutrition of the Rice Plant. Proceedings of the Symposium of the International Rice Research Institute. Baltimore, Johns Hopkins Press, p. 123–146.
- OSTERRIETH M. L. 2001a: Silicofitolitos en sedimentos loésicos de la llanura inter. Y periserrana de Tandilla, Buenos Aires, Argentina. *Ameghiniana* 38: Suplemento, resúmenes: 47R–48R.
- OSTERRIETH M. L. 2001b: Silicobiolitos/Silicofitolitos: su rol en la matriz de suelos y paleosuelos de ambientes costeros de Buenos Aires, Argentina. *Ameghiniana* 38: Suplemento, resúmenes: 47R.
- OSTERRIETH M. L. 2007: Micromorphology and phytoliths study in coastal dunes of the Southeastern Pampean Plains, Buenos Aires province, Argentina. In: MADELLA M., ZURRO D. (eds.): *Plants, People and Places, Recent Studies in Phytolith Analysis*. Oxbow Books, Oakville, p.201–208.
- OSTERRIETH M. L., MADELLA M., ZURRO D., FERNANDA ALVAREZ M. 2009: Taphonomical aspects of silica phytoliths in the loess sediments of the Argentinean Pampas. (Perspectives on Phytolith Research: 6th International Meeting on Phytolith Research) *Quaternary International* 193: 70–79.

- PARFENOVA E. I., YARILOVA E. A. 1956: The formation of secondary minerals in connexion with the migration of elements. *Pochvovedenie* 4: 38–42
- PARRY, D.W., SMITHSON F. 1966: Opaline silica in the inflorescens of some British grasses and cereals. *Annals of Botany* 30: 525–538
- PARRY, D. W., HODSON M. J. 1982: Silica distribution in the caryopsis and inflorescence bracts of foxtail millet [*Setaria italica* (L.) Beauv.] and its possible significance in carcinogenesis. *Annals of Botany* 49: 531–540
- PEARSALL D. M. 1978: Ohytolith analysis of archaeological soils: Evidence for maize cultivation in Formative Ecuador. *Science* 199: 177–178.
- PEARSALL D. M. 1982: Maize Phytoliths: A clarification, *Phytolitharien Newsletter* 1: 3–4.
- PEARSALL D. M. 2000: Paleoethnobotany. A handbook of procedures. Academic Press, London
- PEARSALL D. M. 2002: Maize is Still Ancient in Prehistoric Ecuador: Th Vie from Real Alto, with Comments on Staller and Thompson. *Journal of Archaeological Science* 29: 51–55.
- PETŐ Á. 2007: Introducing the phytolith analysis: A suitable method in palaeoecology and landscape ecology. *Tájökológiai Lapok* 5: 91–102.
- PETŐ Á, BUCSI T. 2008: Kiegészítő adatok a Csípő-halom paleoökológiai elemzéséhez. *Tájökológiai Lapok* 6: 197–208
- PIPERNO D. R. 1984: A comparison and differentiation of phytoliths from maize and wild grasses: Use of morphological criteria. *American Antiquity* 49: 361–383.
- PIPERNO D. R. 1988: Phytolith analysis: An Archaeological and Geological Perspective. Academic Press, Harcourt Brace Jovanovich, Publishers, San Diego, p.268
- PIPERNO D. R. 1997: Phytoliths and microscopic charcoal from LEG 155: A vegetational and fire history of the amazon basin during the last 75 K. Y. In: Flood R. D., Piper D. J. W., Klaus A., Peterson L.C. (eds.): *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results* 155: 411–418.
- PIPERNO D. R. 2006: Phytoliths. A comprehensive guide for archaeologists and palaeoecologists. Altamira Press
- PIPERNO D. R., BECKER P. 1996: Vegetational history of a site in the central Amazon Basin derived from phytolith and charcoal records from natural soils. *Quaternary Research Orlando* 45: 202–209.
- PIPERNO D. R., PEARSALL D. M. 1993: Phytoliths in the reproductive structures of maize and teosinte: implications for the study of maize evolution, *Journal of Archaeological Science* 20 337–362.
- PIPERNO D. R., PEARSALL D. M. 1998: The Origins of Agriculture in the Lowland Neotropics, Academic Press, San Diego.
- PIPERNO D. R., STOTHERT K. E. 2003: Phytolith Evidence for Early Holocene *Cucurbita* Domestication in Southwest Ecuador. *Science* 299: 1054–1057.
- PLANELLA M. T., McROSTIE V. 2005: Análisis de restos botánicos del itio El Mercurio. Tierras contenidas en cerámicos y urnas del contexto funerario. Proyecto Fondecyt.
- PLANELLA M. T., McROSTIE V. 2006: Revisión crítica de los análisis efectuados en los contenidos de vasijas del contexto funerario del sitio El Mercurio. XVII. Congreso Nacional de Arqueología Chilena, Libro de resúmenes: 155–156.
- PORTILLO M., ALBERT R. M., HENRY D. O. 2009: Domestic activities and spatial distribution in Ain Abu Nukhayla (Wadi Rum, Soutern Jordan): The use of phytoliths and spherulites studies. (Perspectives on Phytolith Research: 6th International Meeting on Phytolith Research) *Quaternary International* 193: 174–183
- POWERS A.H. 1992: Great Expectations: A short historical review of European phytolith systematics. In: RAPP JR. G., MULHOLLAND S. C. (eds.): *Phytolith Systematics: Emerging issues*. Advances in archaeological and museum sciences, Vol. 1., Plenum Press, New York. p. 15–35.
- PRASAD V., STRÖMBERG C. A. E., ALIMOHAMMADIAN H., SAHNI A. (2005): Dinosaur Coprolites and the Early Evolution of Grasses and Grazers. *Science* 310: 1177–1180.
- PRYCHID C.J., RUDALL P.J., GREGORY M. 2003: Systematics and Biology of Silica Bodies in Monocotyledons. *The Botanical Review* 69: 377–440.
- RAMÍREZ RÍOS D. C., OTÁLORA CASCANTE A. R., PARRA GIRALDO R. 2005: Identificación de fitolitos en el cálculo dental de individuos prehispánicos del Valle del Cauca – Colombia. *The Phytolitharien* 17(2): 6.
- RAMÍREZ RÍOS D. C., OTÁLORA CASCANTE A.R., PARRA GIRALDO R. 2008: Identificación de fitolitos en el cálculo dental de individuos prehispánicos del Valle del Cauca, Colombia. In: In: KORSTANJE M.A., BABOT M. DEL P. (eds.): *Matices Interdisciplinarios en Estudios Fitólíticos y de Otros Microfósiles*. BAR International Series 1870. p. 209–217.
- ROVNER I., RUSS J. C. 1992: Darwin and design in phytolith systematics: Morphometric methods for mitigating redundancy. In: RAPP JR. G., MULHOLLAND S. C. (eds.): *Phytolith Systematics: Emerging issues*. Advances in archaeological and museum sciences, Vol. 1., Plenum Press, New York. p. 253–276.
- ROVNER I. 1971: Potential of opal phytoliths for use in paleoecological reconstruction. *Quaternary Research* 1: 345–359.

- ROVNER I. 2008: Bibliography of phytolith studies. Unpublished manuscript, pp. 125
- RUNGE F. 1996: Opal phytolithen in Pflanzen aus dem humiden und semi-ariden Osten Afrikas und ihre Bedeutung für die Klima- und Vegetationsgeschichte. *Botanische Jahrbücher für Systematik Pflanzengeschichte und Pflanzengeographie* 118: 303–363
- RUNGE F. 1999: The opal phytolith inventory of soils in Central Africa: Quantities, shapes, classification, and spectra. *Review of Paleobotany and Palynology* 107: 23–53.
- SARJEANT W. A. S. 1978: Hunderth year memorium: Christian Gottfried Ehrenberg 1795–1877. *Palynology* 2: 209–211.
- SCHELLENBERG H.C. 1908: Wheat and barley from the North Kurgan, Anau. In: Pumpelly R. (ed.): Explorations in Turkestan Vol. 3. p. 471–473. Carnegie Institute, Washington DC.
- SMITHSON F. 1956: Silica particles in some British soils. *Journal of Soil Science* 7: 122–9.
- SMITHSON F. 1958: Grass opal in British soils. *Journal of Soil Science* 9: 148–154.
- SMITHSON F. 1959: Opal sponge spicules in soils. *Journal of Soil Science* 10: 105–109.
- SMITHSON F. 1961: The microscopy on the silt fraction. *Journal of Soil Science* 22: 145–157.
- TSARTSIDOU G., LEV-YADUN S., EFSTRATIOU N., WEINER S. 2007: Ethnoarchaeological study of phytolith assemblages from an agro-pastoral village in Northern Greece (Sarakini): development and application of a Phytolith Difference Index. *Journal of Archaeological Science* (in press)
- SZ-BORSOS O. 1974. Notes on the leaf anatomy of the Brachypodium pinnatum species complex. *Acta Botanica Academiae Scientiarum Hungaricae* 20: 13–21.
- TSARTSIDOU G., LEV-YADUN S., ALBERT R. M., MILLER-ROSEN A., EFSTRATIOU N., WEINER S. 2007: The phytolith archaeological record: strengths and weaknesses evaluated based on a quantitative modern reference collection from Greece. *Journal of Archaeological Science* 34: 1262–1275.
- TWISS, P. C. 2001: A curmudgeon's view of grass phytolithology. in: MEUNIER, J.D. & COLLIN, F. (eds.): *Phytoliths: Application in Earth Sciences and Human History*, A.A. Balkema Publishers, Rotterdam, the Netherlands, p.7–27.
- TWISS P. C., SUESS E., SMITH R. M. 1969: Morphological classification of grass phytoliths. *Soil Science Society of America Proceedings* 33: p. 109–115.
- YARILOVA E. A. 1956: Mineralogical investigation of a sub-alpine chernozem on andesite basalt. *Kora Jyvetrivaniya* 2:45–60.
- USOV N.I. 1943: Biological accumulations of SiO₂ in soils. (Pedology) *Pochvovedenie* 9–10: 30–36. (orosz nyelven)
- VINCENS A., SCHWARTZ D., ELENGA H., REYNAUD-FARRERA I., ALEXANDRE A., BERTAUX J., MARIOTTI A., MARTIN L., MEUNIER J-D., NGUETSOP F., SERVAN M., SERVANT-VILDARY S., WIRRMANN D. 1999: Forest response to climate changes in Atlantic Equatorial Africa during the last 4000 years BP and inheritance on the modern landscapes. *Journal of Biogeography* 26: 879–885.
- WATANABE N. 1968: Spodographic evidence of rice from prehistoric Japan. *Journal of the Faculty of Science of the University of Tokyo Sec. V. 3*: 217–235.
- WATANABE N. 1970: Spodographic analysis of millet from prehistoric Japan. *Journal of the Faculty of Science of the University of Tokyo Sec. V. 3*: 357–384..
- WILDING L.P. 1967: Radiocarbon dating of biogenetic opal. *Science* 156. (3771): 66–67.
- WILDING L.P., DREES L.R. 1968: Biogenic opalin soils as an index of vegetation history in the prairie peninsula. In: BERGSTROM, R.E (ed.): *Quaternary of Illinois*, Special Publication 14. University of Illinois College of Agriculture, p. 99–103.
- WILDING L.P., DREES, L.R. 1971: Biogenic opal in Ohio soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 35: 1004–1010.
- ZHENG Y., DONG Y., MATSUI A., UDATSU T., FUJIWARA H. 2003: Molecular genetic basis of determining subspecies of ancient rice using the shape of phytoliths. *Journal of Archaeological Science* 31: 1215–1221.
- ZUCOL A.F, BREA M., PASSEGGI E. 2008: Los estudios fitolíticos en América del Sur, Una visión retrospectiva. In: KORSTANJE M.A., BABOT M. DEL P. (eds.): *Matices Interdisciplinarios en Estudios Fitolíticos y de Otros Microfósiles*. BAR International Series 1870. p. 3–21.

A SHORT HISTORICAL OVERVIEW OF PLANT OPAL STUDIES: FROM DISCOVERY
TO MODERN APPLICATIONS

Á. PETŐ

Szent István University, Institute of Environmental and Landscape Management,
Department of Nature Conservation and Landscape Ecology
H-2103 Gödöllő, Páter Károly u. 1., Peto.Akos@mkk.szie.hu

Keywords: phytolith, paleo- and archaeobotany, palaeopedology, palaeoecology, environmental archaeology, science history

Abstract: At the beginning of the 19th century, when pioneers of the microscopic world were delving deeper and deeper in the fascinating forms and phenomena of microscopic creatures, a German scholar, STRUVE was the first expert to report (1835) on phytoliths observed on slides prepared of living plant tissue. Paradoxically it happened a year earlier than the extraction of pollen grains from Quarternary sediments. Hundred and fifty years had to pass by – sixty-five years more as in the case of palinology – till phytolith research became an own discipline serving the goals of botany, paleoecology and environmental archaeology.