

## LA ENPRENO DE STRONTIO EN KOKOLITOFOROJ

RALPH A. LEWIN<sup>1</sup> AND T. J. CHOW<sup>1</sup>

*Laboratorio por Marbiologio, Woods Hole, Massachusetts  
kaj  
Teknologia Instituto de California, Pasadena, California*

(Ricevita la 4an de Marto, 1961)

Pure cultures of the coccolithophorid *Syracosphaera carterae* were grown in a synthetic saline medium containing 3.4 mM Ca<sup>++</sup> and 2.0, 1.0, 0.5 or 0.0 mM Sr<sup>++</sup>. The coccoliths were separated by differential centrifugation, washed, dried, and examined by flame photometry and by X-ray diffraction. In the absence of Sr, they consisted of pure calcite. In media containing Sr, the concentration factor or incorporation factor (Sr/Ca in coccoliths: Sr/Ca in medium) was approx. 0.02 in each case, indicating a high degree of discrimination against Sr.

Ĉar la elfalo de radio-izotopo <sup>90</sup>Sr estas unu el la plej danĝeraj rezultoj de atombomba eksplodo, estas dezirinde ekscii kie tiu elemento povas eniri biologiajn ciklojn. Tre interesaj tiurilate estas la kokolitoforoj, kalciigitaj flagelatoj, kiuj ofte okupas grandan parton—eĉ ĝis 90%—de la fitoplanktono en varmaj maroj (1, 2). Ĉu tiuj algoj akceptas strontion (Sr) anstataŭ kalcion (Ca) en siaj eksterskeletoj, aŭ ĉu ili tute reĵetas strontion? Ni raportas la jenajn eksperimentojn, faritajn por eltrovi kiom da strontio *Syracosphaera carterae* (Chrysophyta; Coccolithophoridae) enprenas el medioj enhavantaj diversajn koncentrecojn de tiu ne radioaktiva elemento.

Neniu ĝis nun studis eksperimente la enprenon de strontio en la skeletojn de kalciigitaj algoj, kvankam THOMPSON kaj CHOW (3) kaj ODUM (4) studis kaj diskutis la enhavon de strontio en diversaj tiaj maralgoj nature kreskintaj. Inter studoj pri la enpreno de strontio en nekalkiigitaj algoj, notindaj estas tiuj faritaj je *Chara* (5), *Chlorella* (6), diversaj unuĉelaj algoj (7), kaj kelkaj maralgoj (8). WALKER (9) raportis ke eĉ koncentrecoj de SrCl<sub>2</sub> tiel malgrandaj kiel 0.01 mM iom malrapidigis la kreskadon de *Chlorella* en medioj kun malmulte da kalcio.

<sup>1</sup> Nuna adreso: Scripps Instituto por Oceanografio, La Jolla, California, U. S. A.

## MATERIALOJ KAJ METODOJ

Pura, senbakteriigita klono de *Syracosphaera carterae* (la tipa klono de BRAARUD kaj FAGERLUND) estis afable sendita al ni de D-ro L. PROVASOLI (ĉe Haskins Laboratorioj, New York). Kvankam tiu algo bone kreskas en medioj preparitaj kun natura marakvo, unue estis necese krei artefaritan nutran solvaĵon, kies enhavon ni precize sciis. Por eviti eventualan precipitiĝon de strontio, la koncentreco de sulfato en la medio devis esti sub 0.5 mM. Post sinsekva variado de ĉiu necesa jono de mar-

TABELO I

Recepto por artefarita marakvo

a. Ĉefaj saloj			b. Ceteraj komponentoj	
Koncentreco			Koncentreco	
	g/l	mM		
NaCl	20.0	345	Tiamino	1.0 mg/l
KNO <sub>3</sub>	0.5	5.0	Kobalamino	0.001 "
CaCl <sub>2</sub> 2H <sub>2</sub> O	0.5	3.4	Mikroelementoj*	0.25 ml/l
MgCl <sub>2</sub> 2H <sub>2</sub> O	0.5	3.8		
MgSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	0.1	0.4		
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0.025	0.15		

\* Laŭ recepto de D-ro L. PROVASOLI, la miksajo enhavis: je litro, EDTA-Na<sub>2</sub>, 10.0 g; FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O, 0.5 g; Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>·10H<sub>2</sub>O, 0.7 g; MnCl<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O, 1.5 g; ZnCl<sub>2</sub>, 0.1 g; CoCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O, 0.04 g.

akvo, ni elektis la artefaritan medion montratan en Tabelo I. Ĝia pH estis 6.8. Eĉ post aŭtoklava steriligado, ĝi restis tute klara, sen precipitaĵo; kaj ĝi bone subtenis la kreskadon de *Syracosphaera* je konstanta lumo (2,500 luksoj), konstanta temperaturo (22°), kaj malforta sterila aerumado. En tiaj cirkonstancoj la generotempo, dum kiu duobliĝis la nombro de ĉeloj, estis 45 horoj. En riĉigita marakvo la kreskado estis pli rapida, kun generotempo iom malpli longa ol 24 horoj (10).

En ĉiun el kvar 2-litraj flaskoj ni metis 1.5 litrojn de la supre skribita medio; ili enhavis, plue, respektive 2.0, 1.0, 0.5 kaj 0.0 mM SrCl<sub>2</sub>. (Antaŭaj eksperimentoj jam montris ke pli fortaj koncentrecoj de strontio malfavoras la kreskadon de la ĉeloj.) Steriligite je 120° dum 15 minutoj, ĉiu flasko ricevis ĝuste samgrandan suspendaĵon da algoj. En kreskotempo de 25 tagoj, multaj kokolitoj estis liberigitaj. Per centrifugado ni kolektis la ĉelojn, kune kun la liberigitaj kokolitoj, kaj suspendis ilin en distilita akvo. Pro tiu osmoza ŝoko la ĉeloj rompiĝis, liberigante siajn kokolitojn. Tiam ni koncentrigis ĉiujn kokolitojn per frakcia centrifugado, lavis ilin por forigi la ĉelojn, kaj sekigis ilin en desikatoro super koncentrita H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Figuroj 1 kaj 2 montras elektron-mikrografaĵojn de lavitaj kokolitoj. La ĉelajn restaĵojn ni lavis aparte kaj sekigis same. Per flamfotometrado ni analizis la 8 specimenojn, t. e. 4 de kokolitoj, 4 de ĉelaj

restaĵoj. D-ro I. FANKUCHEN (ĉe la Politeknika Instituto, Brooklyn, N. Y.) per X-radia difraktado analizis onon de la kokolitoj kreskintaj en la medio sen strontio.

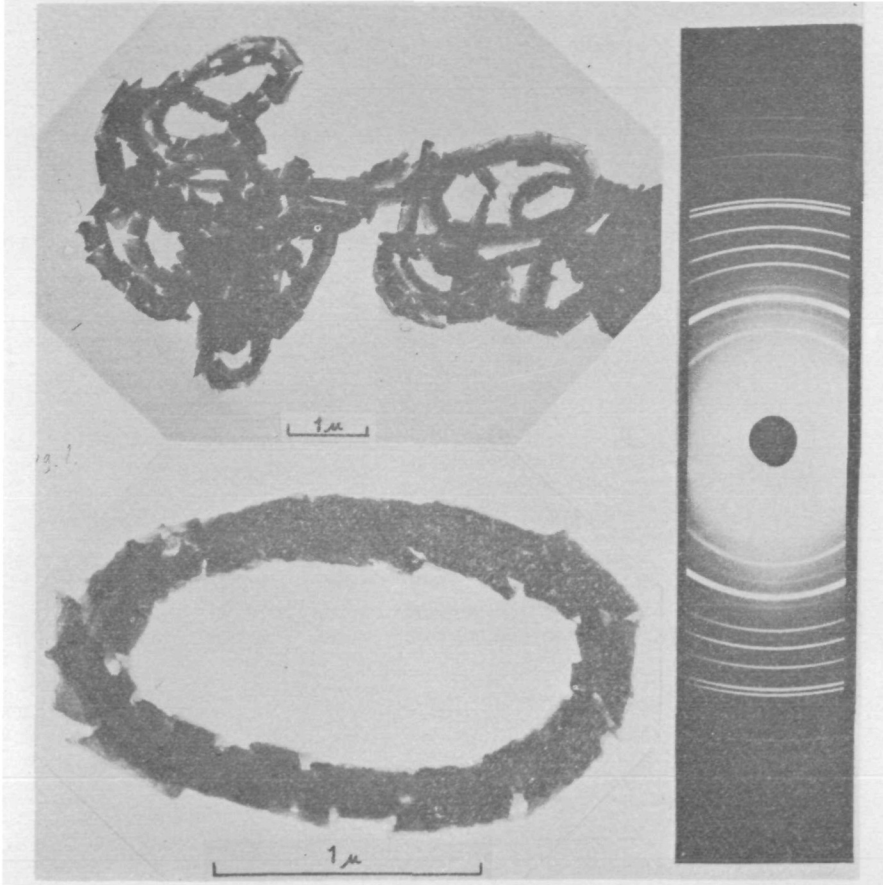


Fig. 1. (maldekstro-supre) Elektron-mikrografajo de kokolitoj de *Syracosphaera carterae* kreskinta en artefarita marakvo sen strontio.

Fig. 2. (maldekstro-malsupre) Elektron-mikrografajo de unu kokolito de *Syracosphaera carterae*, eĉ pli grandigita por montri la kristaletojn de kalcito.

Fig. 3. (dekstre) X-radia difraktaĵo de kokolitoj de *Syracosphaera carterae*, kreskinta en artefarita marakvo sen strontio. Ĝi korespondas precize al tiu de kalcito.

#### REZULTOJ

La X-difrakta bildo (Fig. 3), pruvas ke la kokolitoj enhavas sole puran kalciton, tiel subtenante la observojn de BRAARUD kaj aliaj (11). Tabelo

II kaj Fig. 4 montras la rikoltojn de ĉeloj kaj kokolitoj, ties enhavon de strontio, kaj la Sr/Ca-kvocienton. Ni povas neglekti la enhavon de mag-

TABELO II  
Enpreno de strontio en la kokolitojn de *Syracosphaera carterae*

Flasko N-ro	a	b	c	ĉ Ĉelaj restaĵoj (inkl. kelkaj kokolitoj)			
	Medio			Rikolto	Sr	Sr/Ca	Densiga
	SrCl <sub>2</sub> mM	CaCl <sub>2</sub> mM	Sr/Ca (At. kvoc.)	mg	%	(At. kvoc.) (~d/88)	efikeco (e/c)
1.	0.00	3.4	0.00	30.7	<0.03	0	—
2.	0.47	3.4	0.14	31.3	0.28±0.01	0.0032	0.023
3.	0.94	3.4	0.28	36.1	0.58±0.03	0.0066	0.024
4.	1.88	3.4	0.55	35.6	0.91±0.01	0.0105	0.019

Flasko N-ro	g	ĝ	h	
	Kokolitoj			
	Rikolto	Sr	Sr/Ca	Densiga
	mg	%	(At. kvoc.) (~ĝ/88)	(h/c)
1.	7.8	<0.02	0	—
2.	11.6	0.25±0.01	0.0029	0.021
3.	10.9	0.48±0.02	0.0055	0.020
3.	8.8	0.74±0.03	0.0086	0.016

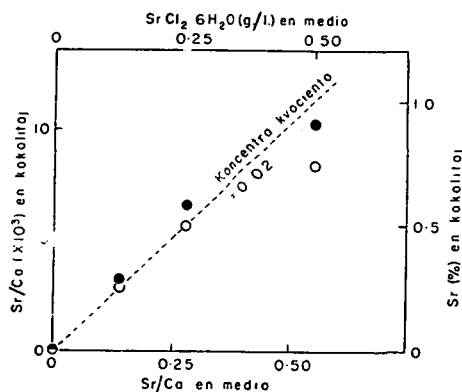


Fig. 4. Sr/Ca kvocientoj de la kreskomedioj kaj de la kokolitoj de *Syracosphaera carterae* tie kreskinta.

nezio (supozeble estanta kiel  $MgCO_3$ ) ĉar ĝi atingis nur 0.10 % ĝis 0.15 %. La kokolitoj konsistis ĉefe el karbonato de kalcio. La proksimumaj ciferoj de la Sr/Ca-kvociendo montras ke la relativa enpreno de strontio estis malgranda, kaj dependis je la koncentro de strontio en la medio. Ŝajne la ĉeloj povas reguligi sian enprenon de strontiaj kontraŭ kalciaj atomoj, ĉar por konstrui kokolitojn ili uzas tiujn atomspecojn ne laŭ la proporcioj en la nutra medio, sed nur je kvindekono de la strontiaj atomoj kiujn oni atendus.

Kiam karbonatoj de strontio kaj kalcio precipitiĝas el marakvo kies Sr/Ca-kvociendo estas 0.009, la Sr/Ca-kvociendo de la precipitaĵo proksimiĝas al la sama cifero (12). La Sr/Ca-kvociendo en la kalcito de koralcaj algoj laŭnature kreskintaj estas nur 0.003; tial ni povas diri ke la densiga efikeco<sup>2</sup> de tiaj plantoj estas  $\frac{0.003}{0.009} = 0.3$ . En eksperimentaj medioj enhavantaj strontion, la freŝakva helikso *Physa* akumulis en sia konkotiom da strontianito kiom da aragonito (13), kun proksimume la sama densiga efikeco, 0.3. Supozeble la eĉ pli malgranda cifero, 0.02, trovita ĉe kokolitoj (vidu supre) ne povas esti konsekvenco de nur fizikokemiaj faktoroj, sed rezultas de ia biologia mekanismo.

#### REFERENCOJ

- (1) N. B. MOROZOVA-VODYANITSKAYA and E. V. BELOGORSKAYA. 1957. The significance of coccolithophores, especially *Pontosphaera*, in the plankton of the Black Sea. *Trudy Sevastopol. Biol. Sta.*, 9, 14-21.
- (2) F. BERNARD. 1958. Comparaison de la fertilité élémentaire entre l'Atlantique tropical Africain, l'Océan Indien et la Méditerranée. *C. R. Acad. Sci.*, 247, 2045-2048.
- (3) T. G. THOMPSON and T. J. CHOW. 1955. The Sr-Ca atom ratio in carbonate-secreting marine organisms. *Papers in Marine Biology and Oceanography. Deep-Sea Res. (Supplement)* 3, 20-39.
- (4) H. T. ODUM. 1957. Biogeochemical deposition of strontium. *Inst. Mar. Sci.*, 4, 38-114.
- (5) R. COLLANDER. 1939. Permeabilitätsstudien an Characeen. III. Die Aufnahme und Abgabe von Kationen. *Protoplasma*, 33, 215-257.
- (6) H. J. KNAUSS and J. W. PORTER. 1954. The absorption of inorganic ions by *Chlorella pyrenoidosa*. *Plant Physiol.*, 29, 229-234.
- (7) T. R. RICE. 1956. The accumulation and exchange of strontium by marine planktonic algae. *Limnol. & Oceanog.*, 1, 123-138.
- (8) G. M. SPOONER. 1949. Observations on the absorption of radioactive strontium and yttrium by marine algae. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, 28, 587-625.
- (9) J. B. WALKER. 1956. Strontium inhibition of calcium utilization by a green algae. *Arch. Biochem. Biophys.*, 60, 264-265.

<sup>2</sup> Sr/Ca en la skeleto: Sr/Ca en la medio.

- (10) T. BRAARUD and F. FAGERLAND. 1946. A coccolithophoride in laboratory culture: *Syracosphaera carterae* n. sp. Norske Videnskaps.—*Akad. Oslo. I. Mat.-Naturv. Kl.*, 2, 1-10.
- (11) T. BRAARUD, K. R. GAARDER, J. MARKALI and E. NORDLI. 1952. Coccolithophorids studied in the electron microcope. *Nytt Mag. Bot.*, 1, 129-133.
- (12) E. J. ZELLER and J. L. WRAY. 1956. Factors influencing precipitation of calcium carbonate. *Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol.*, 40, 140-152.
- (13) H. T. ODUM. 1951. Notes on the strontium content of sea water, celestite Radiolaria, and strontianite snail shells. *Science*, 114, 211-213.