

ANDRZEJ CHLEBICKI

*Zakład Mykologii
Instytut Botaniki im W. Szafera PAN
Lubicz 46, 31-512 Kraków
E-mail: a.chlebicki@botany.pl*

CZY ŻYCIE ZOSTAŁO PRZYNIESIONE Z KOSMOSU?

Czy życie na Ziemi rozwinęło się z organizmów, które dostały się na naszą planetę razem z meteorytami, czy też powstało na skutek biogenezy zachodzącej na samej Ziemi? Jak stare są pierwsze ślady życia na Ziemi? Niektóre ekstremofile spełniają warunki organizmów zdolnych do przetrwania dłu-

gich okresów w przestrzeni międzyplanetarnej. Omówione są różne rodzaje panspermii: nekropanspermia, panspermia odwrócona, kierowana panspermia i litopanspermia. Zbliżone tematy były wcześniej poruszane na łamach Kosmosu przez WEINERA (2009) i BRACHAŃCA (2013).

WSZECHŚWIAT I UKŁAD SŁONECZNY

Jak stary jest Wszechświat? W ciągu ostatnich 80 lat oszacowanie wieku Wszechświata zmieniało się od 2 mld do 20 mld, i nadal są to tylko szacowania. Wiek Układu Słonecznego jest lepiej poznany i przyjmuje się, że ma około 4,6 mld lat.

Materia międzygwiazdowa, tzw. obłok molekularny, z którego powstał Układ Słoneczny składał się w 98% z helu i wodoru oraz prawdopodobnie planet lub ich fragmentów z poprzedniego układu planetarnego, które nie zostały pochłonięte przez końcową fazę gwiazdy, czerwonego olbrzyma (JOSEPH 2009). Później, obłok molekularny wraz z zabłąkanymi planetami został poddany działaniu fali uderzeniowej supernowej. Czy wszystkie te planety zostały całkowicie zniszczone? Tego nie wiemy. Zaczął się tworzyć Układ Słoneczny. Skaliste planety jak Ziemia, Wenus i Mars zawierają w swoim składzie pozostałości po poprzednim układzie planetarnym (JOSEPH i SCHILD 2010). Inaczej mówiąc, Ziemia jest zlepkiem wielu planetoid związanych w jeden sferyczny kształt (DESONIE 1997).

Meteoryt Murchinson jest starszy od Słońca i zachowały się w nim ślady fali uderze-

niowej supernowej (MIMURA i współaut. 2007). Obiekt ten należy do chondrytów CM, bardzo bogatych w związki organiczne: zawiera około 14 tysięcy związków, a wśród nich 70 aminokwasów (CRONIN i współaut. 1993, COOPER i współaut. 2001), a także zasady purynowe: adeninę, guaninę i uracyl. Inni twierdzą, że tych aminokwasów jest 92 (KVENVOLDEN i współaut. 1970), podczas gdy na Ziemi znanych jest ich tylko 30, a spośród nich jedynie 20 jest wykorzystywanych w budowie białek; są to L- α -aminokwasy. Znana też jest hipoteza, że chondryty CM powstały z rozpadu ciemnej asteroidy 19 Fortuna lub Ceres 1 (EDIE 1962). 19 Fortuna to jedna z największych asteroid o średnicy 200-225 km.

Kolejnym ważnym wydarzeniem dla Ziemi było zderzenie z planetoidą wielkości Marsa i powstanie Księżyca (JACOBSEN 2005). Rezonans Jowisza i Saturna spowodował zmianę orbit wielu obiektów. Ten okres nazywany Wielkim Późnym Bombardowaniem (ang. Late Heavy Bombardment, LHB), trwał od 4,1 do 3,8 mld lat. Ziemia wówczas weszła w rój meteorów. Przypuszcza się, że lodowe meteory i komety uderzające w Zie-

mie dostarczyły tyle lodu, że mogły powstać oceany (DESONIE 1997). VALLEY i współaut. (2002) sądzą, że Ziemia nadawała się do życia już 4,4 mld lat. Według PECKA i współaut. (2001), obecność hydrosfery w okresie od 4,4 Ga oznacza ochłodzenie się powierzchni Ziemi mniej więcej po upływie 100 mln lat od powstania Księżyca. Ten pierwszy okres nadawał się do kolonizacji Ziemi lub rozpoczęcia procesu biogenezy. Chondryty CM dostarczyły materii organicznej mającej znaczenie przy formowaniu się życia. Czy czas pomiędzy zaistnieniem odpowiednich warunków do życia 4,4 mld i pojawieniem się pierwszych organizmów 3,43 mld lat (WACEY i współaut. 2011) mógł być wystarczająco długi do utworzenia się życia na Ziemi? Czy późne bombardowania LHB mogły unicestwić pierwsze próby kolonizacji Ziemi lub biogenezy? Znane są opinie, że w czasie pierwszych bombardowań zdarzały się takie kataklizmy, które mogły wysterylizować całą

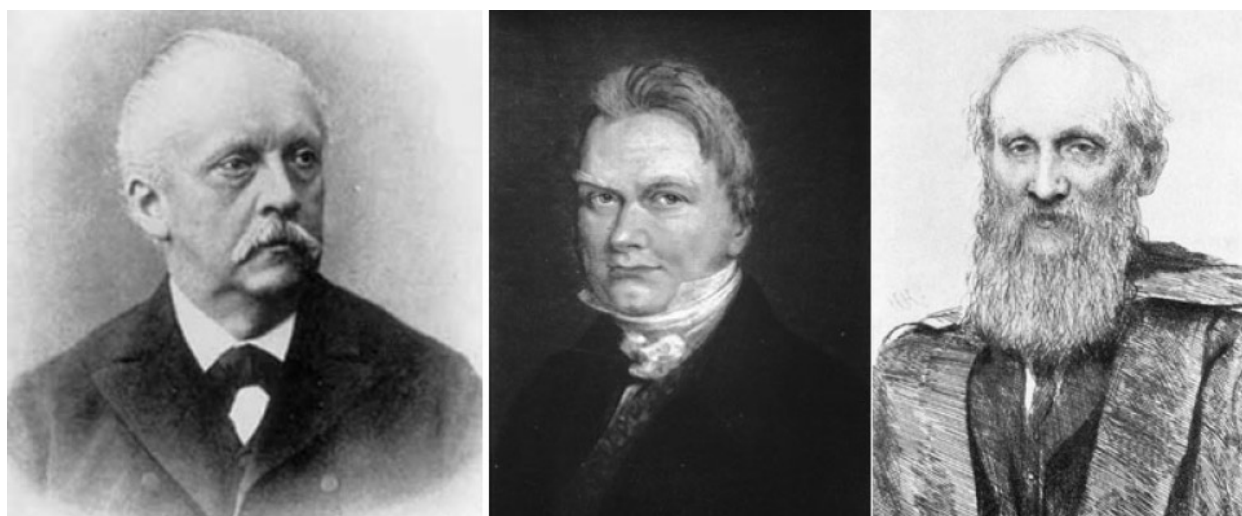
planetę (FORTERRE i GRIBALDO 2007). ABRA-MOV i MOJZIS (2009) sugerują, że nie cała Ziemia ulegała sterylizacji w czasie zderzeń z meteorami.

W obrębie Układu Słonecznego jest kilka obiektów, na których mogło powstać życie. Są to księżyce: Europa, Encelados, Tytan oraz planeta Mars (McKay 2011). Najwięcej informacji posiadamy o próbach znalezienia życia lub jego kopalnych śladów na Marsie. Niedawno wysłany na Marsa łazik Curiosity zaopatrzone w aparaturę SAMs powinien nam dostarczyć jeszcze więcej danych na ten temat. Na razie wiemy z całą pewnością, że na Marsie była woda i odpowiedni zestaw pierwiastków potrzebnych do powstania życia. Ostatnio wysłany satelita MAVEN ma dostarczyć informacji o składzie marsjańskiej atmosfery sprzed 3 mld lat. Obecnie uzyskane dane wskazują, że dawniej na Marsie mogła istnieć gęsta atmosfera i woda w stanie ciekłym.

PANSPERMIA, KREACJA CZY TEŻ BIOGENEZA?

Anaksagoras wprowadził termin panspermia; uważał, że świat składa się z „zarodków” (REALE 2003). BERZELIUS (1834), Herman von Helmholtz i THOMSON (LORD KELVIN 1881) (Ryc. 1) sądzili, że we wszechświecie krążą zarodki życia, które po przeniesieniu przez komety i meteory na odpowiednią planetę wprowadzały na nią życie. Również HOYLE i WICKRAMASINGHE (1993, 2000) uważali, że tę rolę spełniały komety. Z kolei S. Arrhenius uważał, że to raczej fotony światła mogą

przenosić zarodki życia. Zarówno HOYLE i WICKRAMASINGHE (1993, 2000), jak i CRICK (1981) byli zwolennikami tzw. kierowanej panspermii, co oznacza, że według nich organizmy żywe były świadomie kierowane na inne planety przez wyższą inteligencję. HARA i współaut. (2010) opisali odwrotny proces, nazywany przez nich odwróconą panspermią. To z Ziemi zaczęły przedostawać się na inne planety żywe organizmy. Czynnikiem sprawczym miałyby być uderzenia wielkich



Ryc. 1. Herman Helmholtz, Jacob Berzelius, William Thomson Kelvin. Źródła zdjęć: www.fss.uu.nl; en.wikipedia.org; cs.wikipedia.org.

meteorów lub asteroid, które powodowały wyrzucenie ogromnej ilości materii ziemskiej wraz z organizmami w przestrzeń kosmiczną. Paul Wesson z Instytutu Astrofizyki Herzberga w Kanadzie uważał, że życie mogło powstać dzięki dotarciu do Ziemi meteorytów z martwymi organizmami zawierającymi uszkodzony DNA. Tę hipotezę nazwano nekropanspermią. Warto przypomnieć, że bakterie potrafią inkorporować fragmenty DNA z martwych bakterii. W takiej sytuacji należałoby założyć, że życie mogło powstać na Ziemi na skutek specyficznej biogenezy, gdzie pierwsze protoorganizmy mogły wykorzystać kod genetyczny zapisany w DNA martwych organizmów. Część naukowców uważała, że organizmy pozaziemskie znajdowane w skałach meteorytów są mikroskopijnych rozmiarów, tzn. znacznie mniejszych niż ziemskie; ten kierunek myślenia nazwano lito-panspermią (MELOSH 1988), niemniej pogląd ten został później zarzucony. Krzemowo-węglowe struktury, przypominające dzielące się mikroorganizmy, zwane bakteriomorfami są produktem syntezy chemicznej (GARCIA RUIZ i współaut. 2003). Nanobakterie zostały uznane za martwe struktury powstałe na drodze krystalizacji minerałów i związków

organicznych (CISAR i współaut. 2000). Nanoby (nanobes) odkryte w piaskowcowych skałach w Australii o wymiarach od 20 nm do 1 μm (UWINS i współaut. 1998) morfologicznie przypominają aktinobakterie i grzyby; były również porównywane do struktur obserwowanych w marsjańskim meteorycie ALH 84001. Nie ma jednoznacznego potwierdzenia, że są to żywe struktury. Niemniej znane są bardzo drobne bakterie UMB (ultramicrobacteria) o wymiarach mniejszych niż 0,1 μm^3 , o bardzo małych genomach (3,2 do 0,58 Mb) i polifiletycznym pochodzeniu (TORELLA i MORITA 1981, DUDA i współpr. 2012). Są znajdowane w glebie, morskiej wodzie, lodolodach (np. *Chryseobacterium greenlandense*), wiecznej zmarzlinie, pasożytują też na innych bakteriach. *Micavibrio admirandus* i *Kaistia adipata* są pasożytami α -Proteobacteria; *Chryseobacterium solinicola* pasożytuje m. innymi na *Bacillus subtilis*. UMB są efektem redukcyjnej ewolucji, gdzie gatunki pasożytnicze znacznie zmniejszyły swoje rozmiary i genomy. Oznacza to, że są to raczej wyspecjalizowane formy życia, a nie prekursorzy, jak się na początku mogło wydawać.

BIOGENEZA

Arystoteles uważał, że np. myszy powstają z siana, szcury ze szmatek, a muchy z rozkładających się szczątków organicznych. Ten pogląd, zaakceptowany przez Św. Augustyna, dominował aż do XVII w. Pasteur w swoich doświadczeniach wykazał, że samoródtwo jest błędnym poglądem, a bakterie nie lęgną się z brudu. Nadal trwają wzmożone prace na temat samorzutnego powstania życia na naszej planecie, ale w zupełnie innym kontekście. Zwolennicy takiego scenariusza dostarczają bardzo wielu informacji na temat możliwości powstania życia. Biogenetyczne hipotezy są stale testowane i ulepszane, jak chociażby hipoteza „świata RNA”. Artykuł na ten temat był już publikowany w Kosmosie (WEINER 2009), z interesującą tabelką pt. „Historia badań nad pochodzeniem życia”. Spośród wielu hipotez przedstawionych w artykule WEINERA (2009) przypomnę jedynie tzw. „Świat RNA”. Jest to autokatalityczny system zdolny do samopowieliania i ewolucji obywający się bez białek (GESTELAND i współprac. 1999). Pojedyncza nić RNA stanowi genotyp i fenotyp równocześnie. Odkrycie rybozymów (CECH

i BAS 1986) potwierdziło te właściwości. To RNA, a nie białko, katalizuje powstawanie wiązań peptydowych między aminokwasami tworzonych białek. Rybozomy to molekularna skamieniałość po dawnym „świecie RNA” dotyczącym syntezy białek (PASCAL i współprac. 2006). Niemniej proces powstania nukleotydów i nukleozydów, a następnie polimeryzacja tych związków, jest trudny do zrealizowania. Ograniczeniem „świata RNA” jest brak mechanizmów naprawczych i stałe nagromadzanie się błędnych podstawień, ponadto nie został wytworzony mechanizm korekt replikacji, który znamy w świecie DNA. Nie wiadomo, w jaki sposób dochodzi do syntezy długich łańcuchów RNA. Nie wiadomo także jak „świat RNA” przekształcił się w „świat DNA” i jak powstał kod genetyczny.

Przeciwnikiem biogenezy był np. Francis Crick, który uważał, że prawdopodobieństwo powstania białka z aminokwasów wynosi 1 na 10^{260} , podczas gdy Fred Hoyle ocenił to jeszcze niżej, na 1 na 10^{40000} . DAWKINS (1994) zanegował powyższe obliczenia wskazując na działanie doboru kumulatywnego.

Geochemiczne podstawy powstania życia na Ziemi są już dość dobrze zbadane, również chemiczne procesy prowadzące do powstania związków organicznych, z których mogłoby wyewoluować życie są poznane. Natomiast przejście od procesów chemicznych do biologicznych jest nadal trudne do zrekonstruowania i zrozumienia.

W 2010 r. w laboratorium Ventera dokonano kolejnego kroku na drodze do wytworzenia sztucznej komórki. Choć autorzy (GIBSON i współaut. 2010) uznali, że im się to udało, w rzeczywistości zsyntetyzowali jedynie genom *Mycoplasma genitalium* i przenieśli do innej komórki *Mycoplasma capreolum*, z której przedtem usunięto chromosomy. WOLFE-SIMON i współaut. (2010) pochopnie opublikowali doniesienie o zamianie fosforu na arsen w DNA bakterii GFAJ-1 (Halomonadaceae) wyizolowanej z Mono Lake w USA.

Wywołało to ostrą polemikę, zarzucono badaczom niewłaściwe metody i w rezultacie odrzucono wyniki tego zespołu (REDFIELD 2011). Okazało się bowiem, że bakteria nie potrafi egzystować bez fosforu. Od 2000 r. w laboratorium J. W. Szostaka w USA prowadzone są prace nad syntezą sztucznej komórki (SCHRUM i współaut. 2010). SZOSTAK (2012) bardzo sceptycznie odniósł się do możliwości pokonania bariery dzielącej chemiczną i biologiczną stronę życia. Zatytułował swój komentarz: „Próba zdefiniowania życia nie pomoże w wyjaśnieniu pochodzenia życia”, co różnie można interpretować. Znamienna jest także jego końcowa wypowiedź: „To co jest ważne w zrozumieniu pochodzenia życia to jest zrozumienie przejścia od chemii do biologii. Jak dotychczas nie widzę, aby wysiłki zdefiniowania czym jest życie mogły w ogóle pomóc w zrozumieniu jego pochodzenia”.

NAJSTARSZE ŚLADY ŻYCIA

Najstarsze znane ślady życia zostały odnalezione na plaży Strelley Pool w rejonie Pilbara w Australii. Mikroskamieniałości te należą do archaicznych anaerobowych bakterii datowane na około 3,43 miliarda lat (WACEY i współaut. 2011). Ślady aktywności organizmów na powierzchni podwodnej lawy, datowane na 3,5 miliarda lat, odkryli też FURNES i współaut. (2004). Poprzednie odkrycie SCHOPFA (1993) opisujące skamieniałe bakterie, w świetle ostatnich badań (BRASIER i współaut. 2005, MARSHA i MARSHALL 2013) wykazało, że odkryte struktury nie miały cech organizmów żywych – są zaliczone do tzw. bakteriomorfów. Również informacje o śladach życia z grenlandzkiego kratonu Archean Superior z Nuvvuagittuq Supracrustal Belt (NSB) okazały się przedwczesne (PAPINEAU i współaut. 2011). Grafity (uznawane za skały powstałe dzięki aktywności organizmów żywych) są zdecydowanie młodsze od skał uznanych za najstarsze na Ziemi, a ocenianych na 3,8–4,2 miliarda lat. Jak dotychczas, nie ustalono dokładnie wieku wkładek grafitowych. Tak więc, odkrycie początków życia na Ziemi jeszcze jest przed nami. Natomiast mniej więcej wiemy, czego należy się spodziewać. Zapewne będą to organizmy przypominające bakterie. Takie wczesne stadium praorganizmu zostało nazwane LUCA (ostatni wspólny przodek wszystkich ziemskich organizmów) (patrz WOESE i współaut. 1990, WOESE 2000), z którego wyłonily

się archebakterie, bakterie i eukarionty. Niemniej LUCA był już zaawansowanym organizmem, o czym świadczy duża ilość wspólnych białek (aż 31) dla bakterii, archeonów i eukariontów (CICCARELLI i współaut. 2006) pochodzących właśnie od domniemanego LUCA. Czym był LUCA? Jedni uważają, że był to kompleks organizmów, między którymi dochodziło do poziomego przepływu informacji genetycznej. W takiej sytuacji trudno mówić o drzewie życia, a raczej o nieokreślonej gmatwaninie różnorodnych powiązań. W przeglądowym artykule WEINERA (2009) znajdziemy informacje o kluczowych zagadnieniach dotyczących badań nad początkami życia, które mogło powstać na Ziemi. WEINER (2009) nie analizuje hipotezy o pozaziemskim pochodzeniu życia. Badania idą też w kierunku odtworzenia warunków, jakie panowały na Ziemi (skład atmosfery i oceanu) w domniamanym momencie powstania życia lub też dotarcia do powierzchni Ziemi pierwszych organizmów (BADA i współaut. 1994, KASTING 2005, ZAHNLE 2006). Ten drugi scenariusz jest również intensywnie testowany. Odpowiednie warunki do zaistnienia życia zaczęły się około 4,4 mld lat temu (VALLEY i współaut. 2002). Jak sugeruje CICCARELLI i współaut. (2006), pierwotny organizm był termofilem. Okres od momentu ostygnięcia Ziemi do pojawienia się uorganizowanego LUCA jest raczej zbyt krótki, aby nawet taki termofilny organizm mógł się

pojawić. Ziemia, jako większa planeta, stygła wolniej niż Mars, dlatego też przypuszcza się, że pierwszy został skolonizowany Mars. Ta różnica między Ziemią a Marsem liczona jest w setkach milionów lat. Dopiero, gdy Ziemia osiągnęła odpowiednią temperaturę, spadające na nią meteory mogły przetransportować jakieś hipotetyczne żywe organizmy z Marsa lub jeszcze z innego źródła. Pierwsze kontynenty, które powstały na Ziemi to Yilgarn (4,4–4,3 mld), superkontynent Walbara (Vaalbara) (3,6–3,3 mld) i liczący 3 mld lat Ur, uznany za pierwszy pewny kontynent na Ziemi. Z kontynentu Yilgarn pozostał mały kraton Yilgarn w Zachodniej Australii (WILDE i współaut. 2001), gdzie odkryto najstarszy ziemski minerał, cyrkon, datowany metodą U-Pb na 4,4 mld lat. Na powierzchni Ziemi zidentyfikowano 183 kratery po uderzeniach asteroid. Warto wspomnieć o ochronnej roli Księżyca, który, jak się przyjmuje, powstał na skutek zderzenia wczesnej Ziemi z dużą planetoidą wielkości Marsa (RANKERBURG i współaut. 2006) i od samego początku przechwytywał kolejne planetoidy, asteroidy i

meteoryty, zwłaszcza w okresie LHB. Największa planetoida została na Księżycu krater Aitken o średnicy 2240 km. Na Księżycu zidentyfikowano 5185 kraterów o średnicy powyżej 20 km, a tych o średnicy powyżej 1 km prawie pół miliona. Warto sobie uzmysłowić skalę tego zjawiska zachodzącego w ówczesnych warunkach.

Czy Mars był wówczas bezpieczniejszą planetą? Meteoryty pochodzące z Marsa zostały znalezione na Antarktydzie. Z kolei zwolennicy odwróconej panspermii sądzą, że Mars mógł być zasiedlony organizmami żywymi pochodzącymi z Ziemi (HARA i współaut. 2012). Czy istnieją takie organizmy, które mogłyby przeżyć podróż w kosmicznej próżni, narażone na niskie temperatury, promieniowanie i brak wody? Pierwsze doświadczenia wykazały, że bakterie *Bacillus subtilis* wystawione na działanie promieniowania kosmicznego giną natychmiast, również bakterie zabezpieczone szybą kwarcową ginęły, natomiast bakterie umieszczone razem z grudkami czerwonego piasku pozostały żywe (RYSZKIEWICZ 2007).

EKSTREMOFILE

Deinococcus radiodurans wytrzymuje dawkę promieniowania gamma 5000 Gy, podczas gdy człowiek ginie po naświetleniu dawką 10 Gy. Ponadto, gatunek ten jest odporny na promieniowanie UVB oraz promieniowanie Roentgena, nie reaguje na nadtlenuk wodoru, jest bardzo odporny na wysuszenie. Genom *D. radiodurans* (2 chromosomy, mega plazmid i mały plazmid) składa się z 3284 genów. W jednej komórce znajdują się minimum cztery kopie genomu, czasem ich ilość dochodzi do 10. Na mapie Procaryota opracowanej na podstawie sekwencji 16S rDNA *Deinococcus* znajduje się w samym środku domeny bakterii (BRENNER i współaut. 2005). Około 30% genów *D. radiodurans* (1000) jest unikatowe wyłącznie dla tej bakterii. Ponadto, połowa genów jest wykorzystywana do naprawiania uszkodzonego DNA. Te unikatowe cechy *D. radiodurans* zostały wykorzystane przez astrobiologów w hipotezie pozaziemskiego pochodzenia życia, niemniej sądzi się również, że gatunek ten mógł powstać w toksycznych jeziorach podanych okresowemu wysuszeniu. Z pewnością *D. radiodurans* nie jest tym pierwotnym organizmem poprzedzającym LUCA, chociażby z tego powodu, że jest aerobem. Znane są

kolejne gatunki z tego rodzaju o podobnych właściwościach: *D. proteolyticus*, *D. radiopugnans*, *D. radiophilus*, *D. grandis*, *D. indicus*, *D. frigans*, *D. saxicola*, *D. marmola*, *D. geothermalis* i *D. murrayi*. Również i te gatunki potrafią naprawiać uszkodzone przez radiację genomy (LOVETT 2006), tak jak niektóre drożdże. LOVELAND-CURTZE i współaut. (2008) odkryli bakterie *Chryseobacterium greenlandensis* zdolne do przetrwania w ekstremalnych warunkach wysokiego ciśnienia, niskiej temperatury, zmniejszonej zawartości tlenu na głębokości 3000 m lądolodu Grenlandii. Bakterie te przetrwały w stanie żywym około 120 tysięcy lat. Prowadzone od czasu wybuchu elektrowni atomowej w Czernobylu badania (DADACHOVA i CASADEVALL 2008) pozwoliły odkryć dość niezwykle przystosowania ciemnostrzępkowych grzybów *Cladosporium sphaerospermum*, *Exophiala dermatitidis*, *Cryptococcus neoformans*, które potrafią przetworzyć energię promieniowania gamma w energię chemiczną. Proces ten można porównać do procesu fotosyntezy.

MA i współaut. (2000) wyizolowali grzyby z warstw lądolodu Grenlandii liczących 140 tysięcy lat. Były to gatunki należące do takich rodzajów jak: *Cladosporium*, *Peni-*

cillium i *Ulocladium*. Po umieszczeniu na pożywki YMA MEA, PDA i OMA grzyby zaczęły tworzyć kolonie.

Obecnie za najstarsze żywe organizmy ziemskie uznaje się bakterie. O istnieniu takich żywych bakterii w pokładach soli z paleozoiku wspomina już DOMBROWSKI (1966). Bakterie liczące około 250 Ma (250 milionów lat) zostały wyizolowane z kryształów soli (halitu) pochodzących z permskiej Formacji Salado w Nowym Meksyku w USA. Kryształy wydobyto w kopalni z głębokości 564 m. Bakterie znajdowały się w roztworze soli w pustych przestrzeniach wewnątrz dużych kryształów, które zostały w tym samym czasie częściowo scementowane kolejnymi kryształami soli (VREELAND i ROSENZWEIG 2000). Krytycy tego odkrycia podkreślają, że ze względu na brak datowania krystalizacji soli wewnątrz pustych przestrzeni w dużych kryształach nie można określić wieku krystalizacji i bakterii (HAZEN i ROEDDAR 2001). Z kolei SATTERFIELD i współaut. (2005) ocenili wiek roztworu soli wewnątrz pustych przestrzeni i czas krystalizacji. Wspomniany roztwór jest morską wodą z późnego permu. Mikromorfologia wewnętrznych kryształów wypełniających puste przestrzenie jest znacząco odmienna od kryształów powstających współcześnie (STEIN i KRUMHANSL 1988). Wyizolowane bakterie należą do rodzaju *Virgibacillus* Heyndrickx i wsp. (1998) spokrewnionego z *Bacillus*. Bakterie z tego rodzaju są

anaerobami, Gram+, bytującymi w ziemi i słonych wodach. Jeżeli to odkrycie zostanie potwierdzone w kolejnych badaniach, wówczas dostajemy do ręki bardzo ważny argument: bakterie byłyby w stanie przetrwać dalekie podróże międzyplanetarne. VREELAND i ROSENZWEIG (2002), odkrywcy tych bakterii przypominają, że pierwsze badania bakterii w kopalniach soli prowadził polski mykolog NAMYSŁOWSKI (1913, 1914).

Badania ostatnich lat dostarczają coraz więcej danych, które czynią hipotezę panspermii bardziej realną: obecność skomplikowanych związków organicznych w meteoroidach i kometach, wyjątkowa wytrzymałość mikroorganizmów na promieniowanie kosmiczne, temperaturę i wysuszenie, możliwość wykorzystania energii promieniotwórczej do napędzania procesów życiowych, długość życia liczona w setkach milionów lat, to tylko niektóre ważne odkrycia z ostatnich lat. Jest bardzo prawdopodobne, że ekstremofilne organizmy dotarły do Ziemi i dały początek życiu na Ziemi. Można założyć, że takich organizmów było więcej i tylko niektóre z nich dały początek obecnym formom życia. Hipoteza LUCA zakłada taki sam scenariusz. Badania trwają i stale przynoszą nowe zaskakujące informacje. Hipoteza, że życie jest starsze od Układu Słonecznego zdobywa coraz więcej zwolenników. Ziemia nie jest centrum wszechświata, ale również nie jest jedynym miejscem na świecie, gdzie powstało życie.

CZY ŻYCIE ZOSTAŁO PRZYNIESIONE Z KOSMOSU?

Streszczenie

Kiedy mogło powstać życie, skąd się wzięło na Ziemi? Badania naukowe ostatnich lat znacznie przybliżyły możliwość odpowiedzi na niektóre pytania jak np. wiek wszechświata, wiek układu słonecznego, skład chemiczny meteoroidów i komet, dokładniejsze poznanie historii Ziemi, obecność planet w innych układach gwiazdnych, poznanie budowy molekularnej wielu struktur żywych organizmów, odkrycie organizmów (ekstremofilów) żyjących w niekorzystnych warunkach, odkrycia najdłużej żyjących organizmów prokariotycznych, poszukiwania śladów życia na innych planetach. Poglądy Berzeliusa, Helm-

holtza i Lorda Kelvina o pozaziemskim pochodzeniu życia stają się coraz bardziej prawdopodobne. Również złożoność białek i procesów przez nie sterowanych pokazuje, że czas jaki natura miała na wytworzenie tak skomplikowanych struktur od końca okresu LHB (Late Heavy Bombardment) w historii Ziemi do momentu pojawienia się najstarszych bakterii jest raczej zbyt krótki. Hipoteza panspermii zdobywa coraz więcej zwolenników. Omawiane są różne rodzaje panspermii jak nekropanspermia, litopanspermia, kierowana panspermia, odwrócona panspermia i klasyczna panspermia.

COULD LIFE ARRIVE FROM THE UNIVERSE?

Summary

When life could appear and from where it arrived on Earth? Recent investigations bring nearer answers to some of such important questions as the age of the Universe and of our solar system, chemical composition of meteorites and comets, more detailed information of Earth history. Also the discovery of planets in other solar systems, recognition of molecular composition of living organisms, discovery of hyperthermophiles and fossils of living bacteria dated to millions years BP, as well as search of life on other planets can help in explanation of life origin. Old hypothesis of panspermia that life

come to Earth from comets and meteorites has been championed by J. J. Berzelius, H. von Helmholtz, Lord Kelvin, Sir F. Hoyle, F. Crick and others. Also time elapsed between the period of the Late Heavy Bombardment and the appearance of first bacterial fossils on the Earth seems to be too short to evolve by Nature complex protein structures and various controlled by them life processes. Therefore, panspermia hypothesis finds more and more supporters. There are also reported related hypotheses such as necropanspermia, lithopanspermia directed panspermia and inverted panspermia

LITERATURA

- ABRAMOV O., MOJZIS S. J., 2009. *Microbial habitability of the hadean Earth during the late heavy bombardment*. Nature 459, 419–422.
- BADA J. L., BIGHAM C., MILLER S. L., 1994. *Impact melting of frozen oceans on the early Earth: Implication of the origin of the life*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 91, 1248–1250.
- BERZELIUS J. J., 1834. *Analysis of the Alais meteorite and implications about life in other worlds*.
- BRASIER M., GREEN O., LINDSAY J., MCLOUGHLIN N., STEELE A., STOAKES C., 2005. *Critical testing of Earth's oldest putative fossil assemblage from the ~3.5 Ga Apex chert, Chinaman Creek, Western Australia*. Precamb. Res. 140, 55–102.
- BRACHANIEC T., 2013. *Przegląd potencjalnych śladów życia pozaziemskiego w meteorytach*. Kosmos 62, 31–36.
- BRENNER D. J., KRIEG N. R., STALEY J. T., 2005. *Bergey's manual of systematic bacteriology* Tom II/A, Springer, New York.
- CECH T. R., BASS B. L., 1986. *Biological catalysis by RNA*. Ann. Rev. Biochem. 55, 599–629.
- CICCARELLI F. D., DOERKS T., VON MERING C., CHRISTOPHER J., CREEVEY C. J., SNEL B., BORK P., 2006. *Toward automatic reconstruction of a highly resolved tree of life*. Science 311, 1283–1287.
- CISAR J. O., XU D. Q., THOMPSON J., SWAIM W., HUS L., KOPECKO D. J., 2000. *An alternative interpretation of nanobacterium-induced biomineralization*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 97, 11511–11515.
- COOPER, G., KIMMICH, N., BELISLE, W., SARINANA, J., BRABHAM, K., GARREL, L., 2001. *Carbonaceous meteorites as a source of sugar-related organic compounds for the early Earth*. Nature 414, 879–883.
- CRICK F., 1981. *Life Itself. Its Origin and Nature*. Simon & Schuster, New York.
- CRONIN J.R., PIZZARELLO S., EPSTEIN S., KRISHNAMURTHY R.V., 1993. *Molecular and isotopic analysis of the hydroxyl acids, dicarboxylic acids and hydrocarboxylic acids of the Murchison meteorite*. Geochim. Cosmochim. Acta 57, 4745–4752.
- DADACHOVA E., CASADEVALL A., 2008. *Ionizing radiation: how fungi cope, adapt, and exploit with the help of melanin*. Curr. Opin. Microbiol. 11, 525–531.
- DAWKINS R., 1994. *Ślepy zegarmistrz*. PWN, Warszawa
- DESONIE D., 1997. *Kosmiczne katastrofy*. Prószyński i S-ka, Warszawa.
- DOMBROWSKI H. J., 1966. *Geological problem in the question of living bacteria in Paleozoic salt deposits*. [W:] *Second symposium of salt*. RAU J. (red.). Northern Ohio Geological Society Inc. Cleveland, 215–220.
- DUDA V. I., SUZINA N. E., POLIVTSEVA V. N., BORONIN A. M., 2012. *Ultramicrobacteria: formation of the concept and contribution of ultramicrobacteria to biology*. Microbiology 81, 379–390.
- EDIE L. C., 1962. *Messages from Other Worlds*. Science 134, 184.
- FORTERRE P., GRIBALDO S., 2007. *The origin of modern terrestrial life*. HFSP J. 1, 156–168.
- FURNES H., BANERJEE N. R., MUEHLENBACHS K., STAUDIGEL H., DE WIT M., 2004. *Early life recorded in archean pillow lavas*. Science 304, 578–581.
- GARCIA-RUIZ J. M., HYDE S. T., CARNERUP A. M., CHRISTY A.G., VAN KRANENDONK M. J., WELHAM N.J., 2003. *Self-assembled silica-carbonate structures and detection of ancient microfossils*. Science 302, 1194–1197.
- GESTELAND R. F., CECH T. R., ATKINS J. A., 1999. *The RNA world: the nature of modern RNA suggests a prebiotic RNA world*. Cold Spring Harbour Laboratory, New York.
- GIBSON D. G., GLASS J. I., LARTIGE C., NOSKOV V.N., CHUANG R-Y., ALGIRE M.A. i współaut., 2010. *Creation of a bacterial cell controlled by a chemically synthesized genome*. National Academic Press (US), Washington.
- HARA T., TAKAGI K., KAJIURA D., 2010. *Transfer of life-bearing meteorites from Earth to other planets*. J. Cosmol. 7, 1731–1742.
- HAZEN R. M., ROEDDER E., 2001. *How old are the bacteria from the Permian age*. Nature 411: 155.
- HOYLE F., WICKRAMASINGHE C., 1993. *Our Place in the Cosmos*. J. M. Dent, London.
- HOYLE F., WICKRAMASINGHE N. C., 2000. *Astronomical Origins of Life. Steps Towards Panspermia*. Kluwer Academic Publishers.
- JACOBSEN S. B., 2005. *The Hf-W system and the origin of the Earth and Moon*. Ann. Rev. Earth Planetary Sci. 33, 531–570.
- JOSEPH R., 2009. *Life on Earth come from other planets*. J. Cosmol. 1, 1–56.
- JOSEPH R., SCHILD R., 2010. *Biological cosmology and the origins of life in the Universe*. J. Cosmol. 5, 1040–1090.
- KASTING J. F., 2005. *Methane and climate during Precambrian era*. Precambrian Res. 37, 119–129.
- KVENVOLDEN K. A., LAWLESS J., PERING K., PETERSEN E., FLORES J., PONNAPERRA C., KAPLAN I. R., MOORE C.,

1970. *Evidence for extraterrestrial amino-acids and hydrocarbons in the Murchinson meteorite*. Nature 228, 923-926.
- LOVELAND-CURTZE J., MITEVA V., BRENCHELY J. E., 2008. *Novel ultramicrobacterial isolates from a deep Greenland ice core represent a proposed new species, Chryseobacterium greenlandense sp. nov.* Extremophiles 14, 61-69.
- LOVETT S. T., 2006. *Replication arrest-stimulated recombination: dependence on the RecA paralogs, Rada Sms and translesion polymerase DinB*. DNA Repair (Amst) 5, 1421-1427.
- MA L.-J., ROGERS S. O., CATRANIS C. M., STARMER W., 2000. *Detection and characterization of ancient fungi entrapped in glacial ice*. Mycologia 92, 286-295.
- MARSHALL A. O., MARSHALL C. P., 2013. *Comments on "Biogenicity of Earth's earliest fossils: A resolution of the controversy by J. Schopf and A.B. Kudryavtsev"*. Gondwana Res. 22, 761-771.
- MCKAY CH., 2011. *The search for life in our Solar System and the implications for science and society*. Phil. Trans. R. Soc. 369, 594-606.
- MELOSH H. J., 1988. *The rocky road to panspermia*. Nature 332, 687-688.
- MIMURA K., MICHIOKI O., KENICHIRO S., SHIGEMASA H., 2007. *Selective release of D and ^{13}C from insoluble organic matter of the Murchison meteorite by impact shock*. Meteorit. Planetary Sci. 42, 347-355.
- NAMYSŁOWSKI B., 1913. *Über unbekannte halophile Mikroorganismen aus dem Innern des Salzbergwerkes Wieliczka*. Bulletin International de L'Académie des Sciences de Cracovie Classe des Sciences Mathématiques et Naturelles, Série B. 88-104.
- NAMYSŁOWSKI B., 1914. *Les microorganismes des eaux bicarbonates et salines en Galicie*. Bulletin International de L'Académie des Sciences de Cracovie, Classe des Sciences Mathématiques et Naturelles, Série B. 5, 526-544.
- PASCAL R., BOITEAU L., FORTERRE P., GARGAUD M., LAZCANO A., LOPEZ-GARZIA P., MOREIRA D., MAUREL M.C., PERETO J., PRIEUR D., REISSE J., 2006. *Prebiotic chemistry-biochemistry-emergence of life (4.42 Ga) Earth*. Moon, Planets 98, 153-203.
- PAPINEAU D., DE GREGORIO B. T., CODY G. D., O'NEIL J., STEELE A., STROUD R. M., FOGEL M. L., 2011. *Young poorly crystalline graphite in the >3.8-Gyr-old Nuvvuagittuq banded iron formation*. Nature Geoscience 4, 376-379.
- PECK W. H., VALLEY J.W., WILDE A. A., GRAHAM C. M., 2001. *Oxygen isotope ratios and rare earth elements in 3.3 to 4.4 Ga zircons: ion microprobe evidence for high $\delta^{18}O$ continental crust and oceans in the Early Archean*. Geochimica et Cosmochimica Acta 65, 4215-4229.
- RANKENBURG K., BRANDON A. D., NEA, C. R., 2006. *Neodymium Isotope Evidence for a Chondritic Composition of the Moon*. Science 312, 1369-1372.
- REALE G., 2003. *Mysł starożytna*. KUL, Lublin.
- REDFIELD R. J., 2011. *"Comment on "A Bacterium That Can Grow by Using Arsenic Instead of Phosphorus"*. Science 332, 1149-1149.
- RYSZEWICZ M., 2007. *4 miliardy lat. Eseje o ewolucji*. Prószyński i S-ka, Warszawa.
- SATTERFIELD C. L., LOWENSTEIN T. K., VREELAND R. H., ROSENZWEIG W. D., POWERS D. W., 2005. *New evidence for 250 Ma age of halotolerant bacterium from a Permian salt crystal*. Geology 33, 265-268.
- SCHOPF J. W., 1993. *Microfossils of the early Archean Apex Chert: new evidence of the antiquity of life*. Science 260, 640-646.
- SCHRUM J. P., ZHU T. F., SZOSTAK J. W., 2010. *The origin of cellular life*. Cold Spring Harb Perspect Biol doi: 10.1101/cshperspect.a002212
- STEIN C. L., KRUMHHAUSL J. L., 1988. *A model for the evolution of brines in salt from the lower Salado Formation, southeastern New Mexico*. Geochimica et Cosmochimica Acta 52, 1037-1046.
- THOMSON W. [LORD KELVIN], 1881. *Presidential Address: On the origin of life on earth*. Report of the Forty-First Meeting of the British Association for the Advancement of Science; held at Edinburgh in August.
- SZOSTAK J. W., 2012. *Attempts to define life do not help to understand the origin of life*. J. Biomol. Struct. Dynamics 29, 599-600.
- VALLEY J. W., PECK W. H., KING E. M., WIDE S. A., 2002. *A cool early Earth*. Geology 30, 351-354.
- VREELAND R. H., ROSENZWEIG W. D., 2002. *The question of uniqueness of ancient bacteria*. J. Indust. Microbiol. Biotechnol. 28, 32-41.
- UWINS P. J. R., WEBB R. I., TAYLOR A. P. 1998. *Novel nano-organisms from Australian sandstones*. Am. Mineralog. 83, 1541-1550.
- WACEY D., KILBURN M. R., SAUNDERS M., CLIFF J., BRASIER M. D., 2011. *Microfossils of sulphur-metabolizing cells in 3.4 billion-year-old rocks of Western Australia*. Nature Geosci. 4, 698-702.
- WEINER J., 2009. *Hipotezy o powstaniu i wczesnej ewolucji życia*. Kosmos 58, 501-528.
- WILDE S., VALLEY J. W., PECK W. H., GRAHAM C. M., 2001. *Evidence from detrital zircons for the existence of continental crust and oceans on the Earth 4.4 Gyr ago*. Nature 409, 175-178.
- WOESE C. R., KANDLER O., WHEELIS M. L., 1990. *Towards a natural system of organisms: proposal for the domains Archea, Bacteria, and Eucarya*. Proc. Natl. Acad. Sci USA 87, 4576-4579.
- WOESE C. R. 2000. *Interpreting the universal phylogenetic tree*. Proc. Natl. Acad. Sci USA 97, 8392-8396.
- WOLFE-SIMON F., SWITZER BLUM J., KULP T. R., GORDON G. W., HOEFT S. E., PETT-RIDGE J., STOLZ J. F., WEBB S. M., WEBER P. K., DAVIES P. C. W., ANBAR A. D., OREMLAND R. S., 2010. *A bacterium that can grow by using arsenic instead of phosphorus*. Science 332, 1163-1166.
- TORELLA F., MORITA R. Y. 1981. *Microcultural study of bacterial size changes and microcolony and ultramicrocolony formation by heterotrophic Bacteria in seawater*. App. Environ. Microbiol. 41, 518-527.
- ZAHNLE K. J., 2006. *Earth's earlier atmosphere*. Elements 2, 217-222.