

Ćwiczenie C02A

Komórka i cykl życiowy

Pochodzenie komórek
Komórki Pro- i Eukariota
Cykl życiowy komórki
Organizmy modelowe

Prof. dr hab. Roman Zieliński

1. Pochodzenie komórek

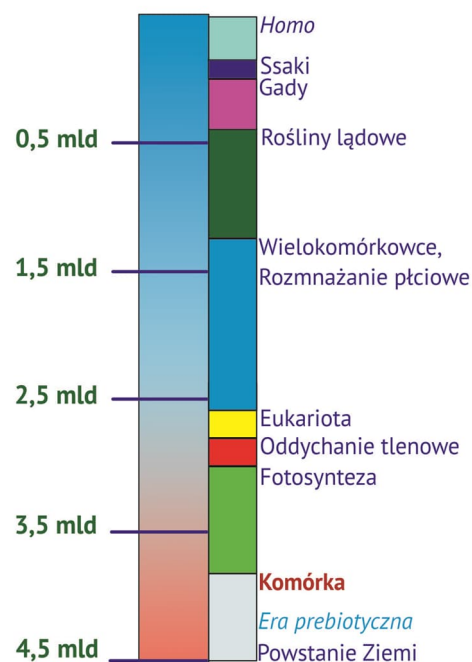


Abiogeneza: teoria opisująca powstanie życia z materii nieożywionej, w tym z prostych związków organicznych. Powstanie życia nie było procesem jednostkowym, ale wynikiem ewolucji chemicznej obejmującej prebiotyczną syntezę złożonych związków organicznych, powstanie samoreplikacji, autokatalizy i błon komórkowych.

1.1. Powstanie pierwszych komórek

1.1.1. Protokomórki

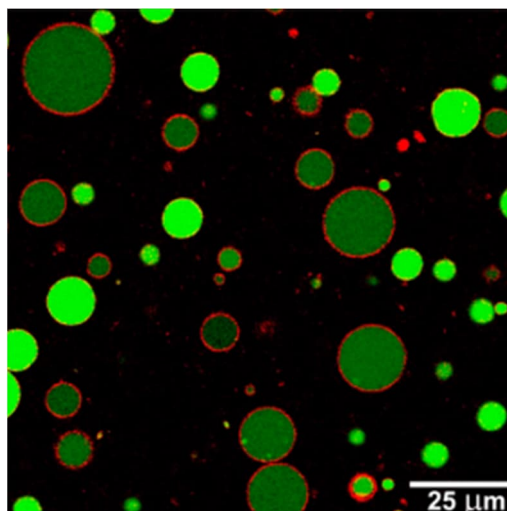
Ziemia ma około 4,5 mld lat, jednakże pierwsze 500 mln lat istnienia tej planety nie sprzyjały powstawaniu życia ze względu na wysoką temperaturę, brak atmosfery, deszcze meteorytów. Pierwsze organizmy powstały około 3,8-3,5 miliarda lat temu (Rys. 1.1.1a) na skutek spontanicznej syntezy materiałów organicznych i ich polimeryzacji. Przykładowo, podgrzewanie mieszaniny aminokwasów prowadzi do polimeryzacji i powstania polipeptydów. W jaki sposób doszło do tranzycji ewolucji chemicznej w ewolucję biologiczną jest wciąż przedmiotem dyskusji. Interdyscyplinarne badania z zakresu biologii, astrobiologii, geofizyki, chemii, inżynierii umożliwiają przedstawienie najbardziej prawdopodobnego scenariusza powstania pierwszych komórek.



Rys. 1.1.1a. Uproszczona oś czasu powstania życia na Ziemi i ewolucji biologicznej.

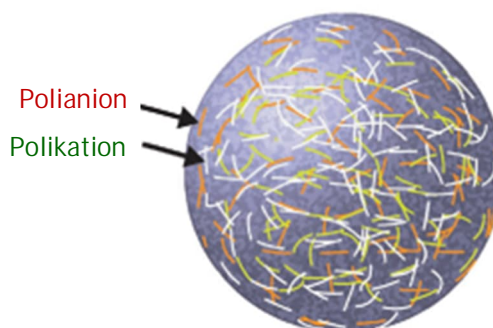
Okres poprzedzający powstanie pierwszych komórek nazywany jest **erą prebiotyczną**, kiedy zachodziła ewolucja chemiczna. Z kolei terminem protokomórki określa się samoorganizujące się, sferyczne struktury lipidowe, które umożliwiają koncentrację związków chemicznych i oddzielenie ich od środowiska.

Protokomórki stanowią formę pośrednią między nieżywymi strukturami a żyjącymi komórkami. Protokomórki nie są tak rozproszone jak środowisko płynne, ale nie są tak dobrze zorganizowanymi strukturami jak komórki współczesne. Najprostsze protokomórki to krople pozbawione błony i zbudowane z hydrofobowych składników, które utrzymywane są za pomocą słabej interakcji (koacerwaty). Bardziej złożone układy powstają na skutek zamknięcia roztworu wodnego przez samorzutną organizację membrany lipidowej (pęcherzyki membranowe). W protokomórkach, podobnie jak w komórkach może wytworzyć się zróżnicowany zestaw środowisk chemicznych oddzielonych od zewnętrznego środowiska wodnego (Gozen i inni 2022).



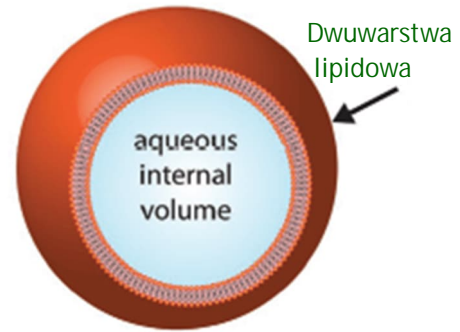
Rys. 1.1.1b. Syntetyczne protokomórki, otrzymane przez spontaniczne zamknięcie kalceiny w membranach zbudowanych z lecytyny. Enzymy oraz inne makromolekuły mogą łatwo być zamykane w takich pęcherzykach, które następnie mogą tworzyć system kompartmentów (Stano i Mavelli 2015)

- Koacerwaty są żelopodobnymi roztworami wodnymi makrocząstek (peptydy, białka, kwasy nukleinowe) oraz związków powierzchniowo czynnych. Koacerwaty nie mają otoczki, powstają przez rozdział faz ciecz-ciecz. Uważane są za prekursorów struktur membranowych o różnym stopniu złożoności. Przykładowo, błona zbudowana z kwasów tłuszczowych może powstać na powierzchni mikrokropki złożonych z koacerwatów. Koacerwaty uważane są także za prekursorów struktur bezbłonowych, np. jąderka, paraciatek, ciałek Cajala. W koacerwatach mogą tworzyć się kompartmenty z kilkoma poziomami substruktur. Z ewolucyjnego punktu widzenia, jeżeli frakcja koacerwatów ma lepsze właściwości niż pozostałe, to może zacząć dominować w środowisku. Przykładowo, koacerwaty złożone z krótkich polijonów, w porównaniu z koacerwatami zbudowanymi z długich polijonów, skuteczniej tworzą środowiska o różnym pH, akumulują RNA i chronią powstawanie dupleksów RNA-RNA. Koacerwaty zawierające cukier i aminokwasy ułatwiają przemiany RNA w porównaniu z koacerwatami nie zawierającymi tych składników. Z kolei pęcherze gazu w mikrojamach skalnych promują wzrost, fuzję i podział mikrokropel złożonych z koacerwatów. Pomiędzy koacerwatami a komórkami istnieje szereg stadiów pośrednich, w tym pęcherzyki membranowe.



Rys. 1.1.1c. Model koacerwatu (Gozen i inni 2022)

Pęcherzyki membranowe to sferyczne struktury otoczone podwójną błoną lipidową zamykającą roztwór wody. Spontaniczne tworzenie membran jest zależne od stężenia związku amfifilowego (zdolność do oddziaływania związku z rozpuszczalnikami polarnymi, np. wodą jak i niepolarnymi, np. węglowodorami). Ponadto tworzenie membran zależy od pH i temperatury. Pęcherzyki zbudowane z kwasów tłuszczowych zmieszanych z długołańcuchowymi alkoholami i glicerolem wykazują wyższą zdolność do tolerancji różnych warunków środowiskowych niż pęcherzyki zbudowane z samych kwasów tłuszczowych. Z kolei dodanie cytrynianu i jonów magnezu, Mg^{2+} umożliwia syntezę RNA wewnątrz pęcherzyków. Niewielka ilość fosfolipidów wspomaga wzrost pęcherzyków przez powiększanie się błony na skutek włączania pęcherzyków zbudowanych z samych kwasów tłuszczowych. Membrany zbudowane z samych kwasów tłuszczowych są wysoce przepuszczalne w roztworze wodnym, dodanie fosfolipidów, znacznie ogranicza przepuszczalność.



Rys. 1.1.1d. Pęcherzyk membranowy (Gozen i inni 2022).

1.1.2. Powstanie pierwszych komórek

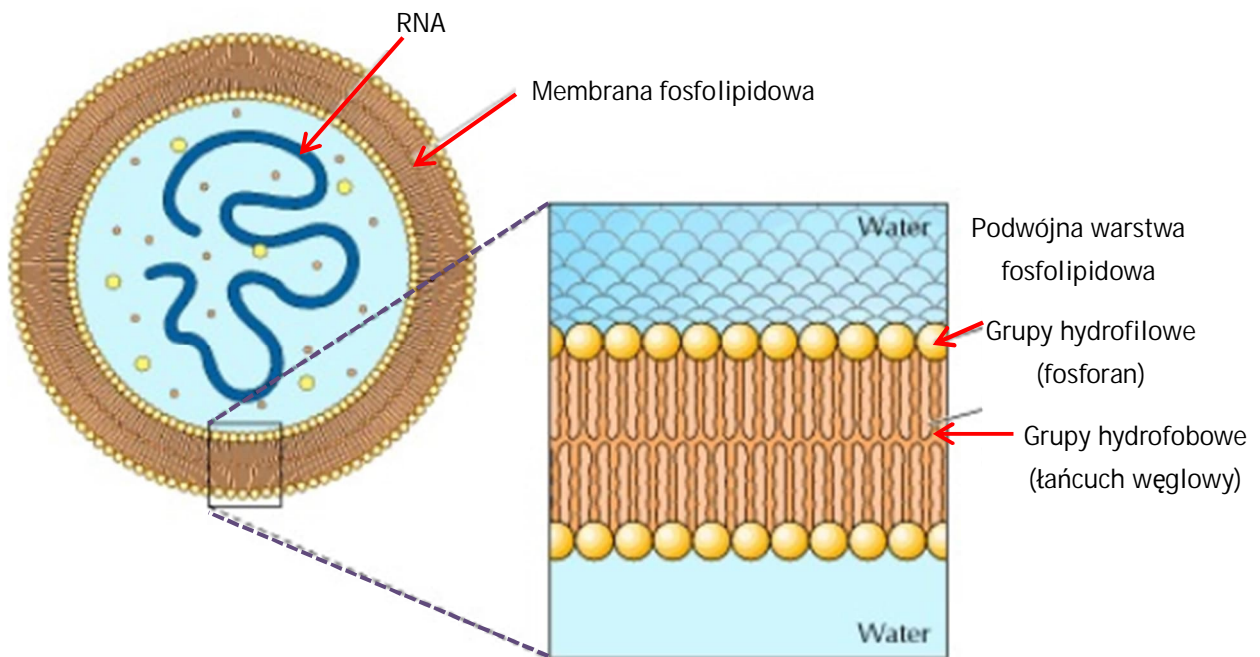
Uważa się, że pierwsze komórki powstały poprzez zamknięcie saomoreplikującego RNA w błonach fosfolipidowych (Rys. 1.1.2). Błony fosfolipidowe są składnikiem wszystkich współczesnych komórek, zarówno prokariotycznych jak i eukariotycznych.

Wszystkie błony fosfolipidowe są bipolarne (amfipatyczne), co oznacza, że składają się one z elementów rozpuszczalnych w wodzie (hydrofilnych), tj. grup fosforanowych oraz elementów nierozpuszczalnych w wodzie (hydrofobowych), tj. długich łańcuchów węglowych. W wodzie fosfolipidy samorzutnie tworzą podwójne warstwy będące stabilną barierą między dwoma roztworami wodnymi.

Dominująca hipoteza zakłada powstanie pierwszych komórek w środowisku morskim. Jednakże coraz częściej pojawiają się dane sugerujące powstanie komórek w środowisku z wysokim stężeniem jonów potasu, cynku i związków fosforu. Argumentem przemawiającym za takim środowiskiem jest rola tych związków w metabolizmie współczesnych komórek. Wysokie stężenie jonów potasu, cynku i związków fosforu w pierwotnym środowisku wyklucza środowisko morskie. Wysokie stężenie wymienionych związków obserwuje się w kominach geotermalnych w środowisku lądowym. Stąd coraz częściej wskazuje się właśnie na środowisko lądowe jako ekosystem, w którym powstały pierwsze komórki (Mulkiđjanian i inni 2012).

Pierwsze komórki były anaerobowe tzn. pozyskiwały energię z rozkładu cząstek organicznych bez obecności tlenu. Świadczy o tym brak enzymów związanych z autotrofią w materiale genetycznym znajdowanym w najstarszych śladach organizmów żywych. Fotosynteza i oddychanie tlenowe pojawiły się później. Oddychanie tlenowe jest konsekwencją fotosyntezy, w wyniku której CO_2 jest przekształcane w związki organiczne. Produktem ubocznym tego procesu jest tlen. Wzrost

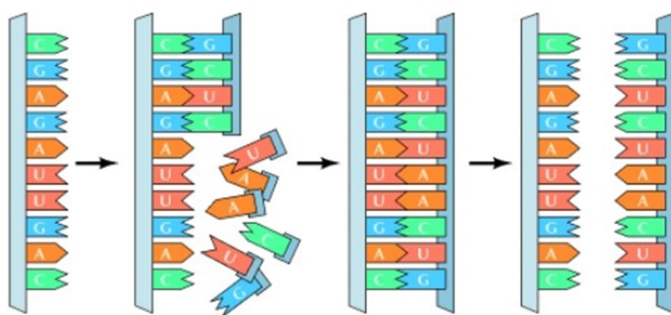
zawartości tlenu w atmosferze ziemskiej przyczynił się do rozwoju fosforylacji oksydacyjnej, będącej podstawą oddychania tlenowego. Pierwsze komórki posiadały także system ochrony przed promieniowaniem UV ponieważ na wczesnym etapie powstania życia nie istniała ochronna warstwa ozonowa.



Rys. 1.1.2. Zamykanie samoreplikującego RNA w błonach fosfolipidowych (Cooper 2000).

Pierwotne rodziny białkowe, zwłaszcza GTPazy i aminoacylo-tRNA syntetazy najprawdopodobniej wymagały obecności jonów potasu, K^+ i jonów cynku, Zn^{2+} , jako kofaktorów. Podobne preferencje obserwuje się u niektórych białek wirusowych kodowanych przez geny nie mające odpowiedników u organizmów żywych. Według jednej z hipotez, wirusy takie mogłyby stanowić formę przejściową pomiędzy materią nieożywioną a organizmami żywymi (Mulkidjanian i inni 2012).

➔ 1.2. Świat RNA



Rys. 1.2a. Uproszczony schemat samoreplikacji RNA.

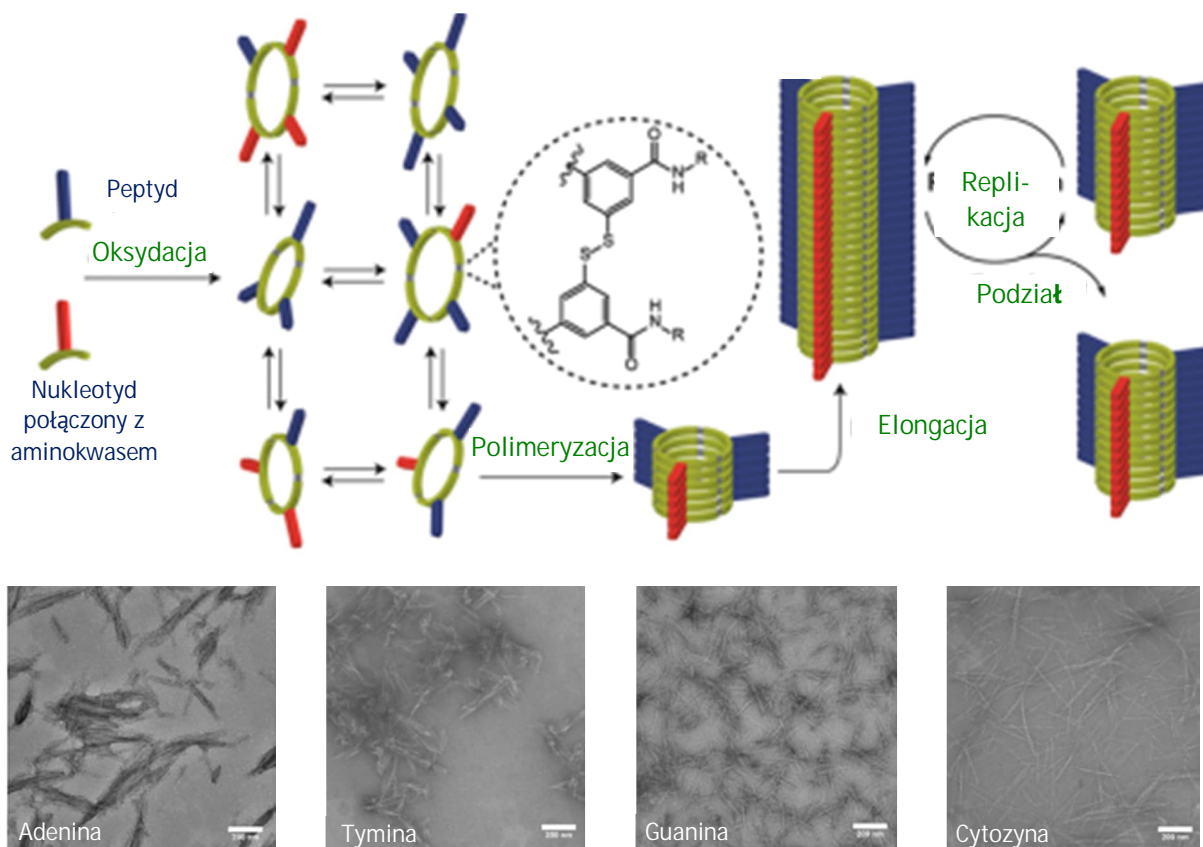
Krytyczną właściwością makromolekuł prowadzącą do powstania życia jest zdolność do samoreplikacji. Spośród współczesnych makromolekuł, białek i kwasów nukleinowych, tylko te ostatnie mają zdolność do samoreprodukcji i dalszej ewolucji. Odkrycie w latach 80-tych XX w. katalizacyjnych zdolności RNA, w tym katalizowania polimeryzacji nukleotydów było podstawą koncepcji uznającej RNA za pierwotny materiał

genetyczny. RNA może funkcjonować zarówno jako matryca do syntezy cząstek potomnych, jak i jako „enzym” katalizujący replikację. Wczesny etap ewolucji chemicznej opierał się na

samoreplikacji RNA, który był pierwszym materiałem dziedzicznym (Rys. 1.2a). RNA powstał na wczesnych etapach ewolucji Ziemi na skutek przemian chemicznych.

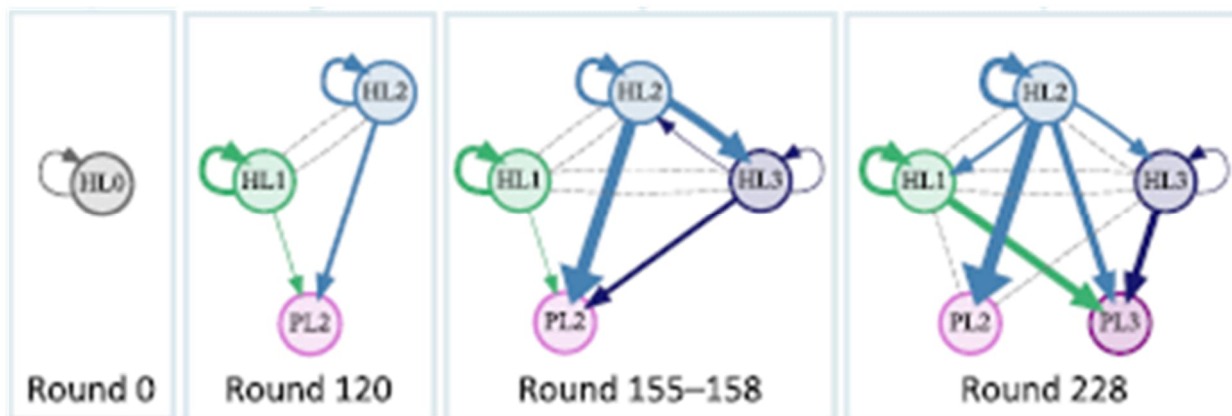
Na skutek interakcji między RNA a aminokwasami doszło do powstania kodu genetycznego. Współczesne doświadczenia wykazały, że mieszanina zawierająca aminokwasy i nukleotydy ma tendencję do samorzutnego łączenia się tych składników w struktury fibrylarne będące chimerycznymi replikatorami. Struktury te autokatalizują tworzenie nici nukleotydydowych (Rys. 1.2b). Polimery RNA mogą powstawać spontanicznie na powierzchni minerałów lub na skutek zamrożenia skoncentrowanych rybonukleotydydów (Joyce i Szostak 2018).

System samoreplikujący to system, w którym autokatalizie towarzyszy przepływ informacji i dziedziczność. Okres, gdy materiałem genetycznym był RNA nosi nazwę „Świata RNA”.



Rys. 1.2b Góra - schemat samorzutnego łączenia się aminokwasów i nukleotydydów w samoreplikujące autoreplikatory (górze). Dół – fotografie TEM pokazujące fibrylarne struktury samoreplikatorów zawierających odpowiednio adeninę, tyminę, guaninę i cytozynę (Liu i inni, 2020).

Długotrwała replikacja cząsteczek RNA w warunkach eksperymentalnych wykazuje dywersyfikację wyjściowej populacji RNA na kilka linii. Ich częstości początkowo zmieniają się z pokolenia na pokolenia na skutek konkurencji, aby ostatecznie ustabilizować się na stałym poziomie po około 220 rundach replikacji. Koreplikacja kilku linii RNA prowadzi do rozwoju sieci współzależności, obejmujących kilka typów RNA różniących się właściwościami (Mizuuchi i inni 2022).



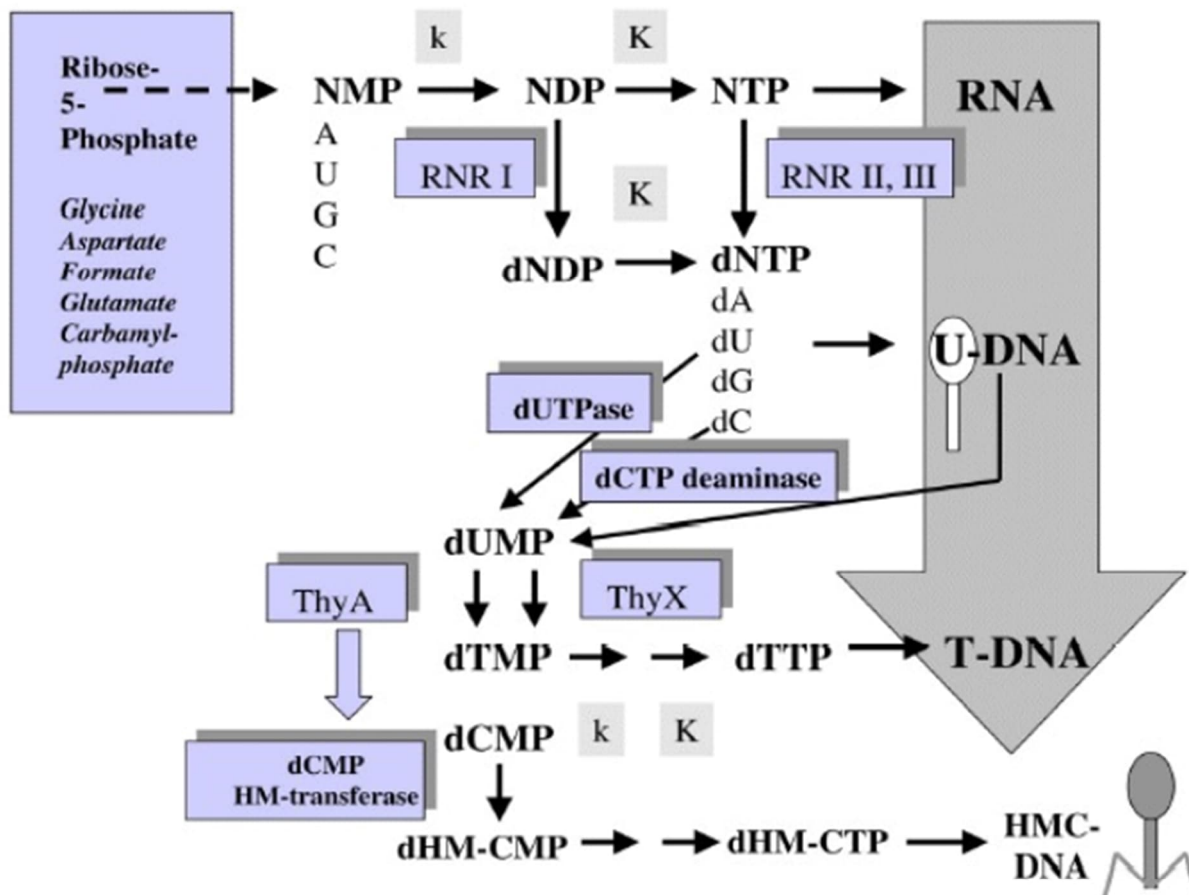
Rys. 1.2c. Ewolucja eksperymentalna cząsteczek RNA. Kolejne rundy replikacji prowadzą do różnicowania cząsteczek RNA, ewolucji zróżnicowanych cząsteczek w odrębne linie oraz tworzenia sieci współzależności między cząsteczkami RNA (Mizuuchi i inni 2022).

➔ 1.3. Powstanie DNA

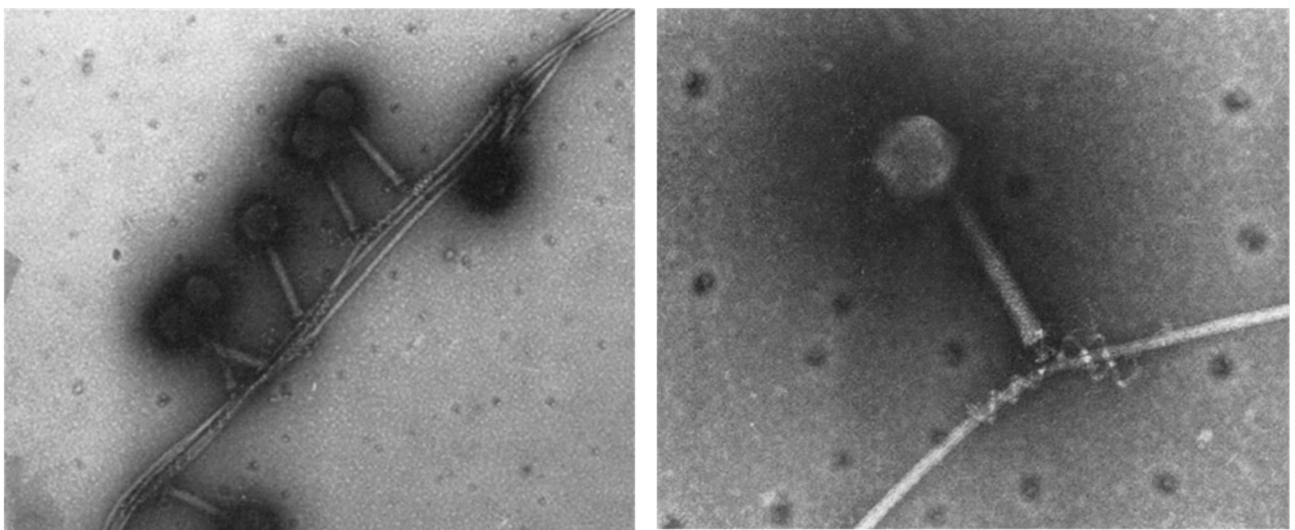
Istotnym etapem w ewolucji komórki było zastąpienie RNA przez DNA. DNA może być uważane za „zmodyfikowaną formę RNA”, która powstaje przez redukcję (pozbawienie tlenu) „normalnej” rybozy do deoksyrybozy oraz zmetylowanie uracylu do tyminy. W komórkach współczesnych DNA powstaje z prekursorów RNA przez redukcję dwu- oraz trójfosforanów rybonukleotydów za pomocą reduktazy rybonukleotydowej (Rys. 1.3a). Synteza DNA z rybonukleotydów we współczesnej komórce jest głównym argumentem za pierwotnym charakterem RNA. Dwu- i trójfosforany rybonukleotydów (NDP i NTP) powstają z monofosforanów rybonukleotydów przez fosforylację za pomocą kinazy. Natomiast dTMP powstaje przez metylację dUMP za pomocą syntetazy tymidylowej. Reakcja ta wskazuje, że U-DNA (zawierające uracyl) było pośrednią formą między RNA i T-DNA (DNA z tyminą).

We współczesnych komórkach obecność uracylu w DNA jest efektem błędnego wstawienia zasady (wstawienie uracylu zamiast tyminy). Drugim mechanizmem prowadzącym do uracylacji DNA jest deaminacja deoksycytozyny do deoksyuracylu katalizowana między innymi przez enzymy rodziny APOBEC (apolipoproteiny B edytujące mRNA). DNA zawierający uracyl charakteryzuje się większą częstością mutacji. Uracyl w DNA prowadzi do zaburzeń w syntezie mRNA, powoduje fragmentację DNA i ostatecznie śmierć komórki. W trakcie ewolucji powstały mechanizmy zapobiegające wbudowaniu deoksyuracylu do DNA. W obecności wysokiego stężenia dUTP dochodzi do ekspresji dUTPazy, która hydrolizuje dUTP do dUMP, jednocześnie dostarczając substratu dla syntetazy tymidylowej przekształcającej dUMP do dTMP.

Chociaż w większości przypadków, uracyl w DNA jest szkodliwy istnieją wirusy zawierające U-DNA. Przykładem są fagi PBS1 i PBS2 infekujące *Bacillus subtilis*, fag fiR1-37 infekujący *Yersinia* sp. Deoksyuracyl w DNA jest także niezbędny do powstania zróżnicowania limfocytów B w odpowiedzi na aktywację przez antygen. Ekspozycja limfocytów B na antygen prowadzi do kontrolowanej deaminacji deoksycytozyny w DNA. Reakcja jest katalizowana przez enzymy rodziny APOBEC. Obecność dUMP w DNA uruchamia mechanizmy naprawcze. Jednakże część miejsc z dUMP pozostaje nienaprawiona, co prowadzi do pęknięć podwójnej nici. Mechanizm ten umożliwia generowanie somatycznych hypermutacji, rekombinacji i ostatecznie zróżnicowanie populacji powstałych przeciwciał (Nagy i inni 2021).



Rys. 1.3. Szlak syntezy deoksurybonukleotydów. Dwu- i trójfosforany rybonukleotydów (NDP i NTP) powstają w wyniku fosforylacji za pomocą kinazy (k i K). NTP są materiałem budulcowym RNA. Jednocześnie są prekursorami deoksurybonukleotydów. Dwu- i trójfosforany deoksurybonukleotydów powstają w wyniku odłączenia (redukcji) tlenu z rybozy w pozycji 2'. Reakcja jest katalizowana przez reduktazę rybonukleotydową (RNR). W ten sposób powstają dNTP: dATP, dCTP, dGTP oraz dUTP. dTMP (monofosforan deoksytymidylowy) powstaje z dUMP przy pomocy syntetazy tymidylowej, która przyłącza grupę metylową. Następnie dTMP jest konwertowany do dTTP za pomocą kinaz. Samo dUMP może powstać w wyniku spontanicznej deaminacji cytozyny.



Rys. 1.3b. Wirus PBS1 zaabsorbowany na flagelli *Bacillus subtilis*. Wirus zawiera dwuniciowy U-DNA (Raimondo i inni 1968).

2. Komórki Prokariota i Eukariota

2.1. Prokariota

Do Prokariota należą dwie domeny: Archaea (Archeony, archebakterie) oraz Bacteria (bakterie).



Na podstawie źródeł internetowych proszę scharakteryzować:

A. Archaea:

- ▶ Proszę podać główne cechy tej grupy. Jaki jest związek Archaea z Eukariota?
- ▶ Proszę podać trzy gatunki należące do Archaea i krótko je opisać.

B. Eubacteriae:

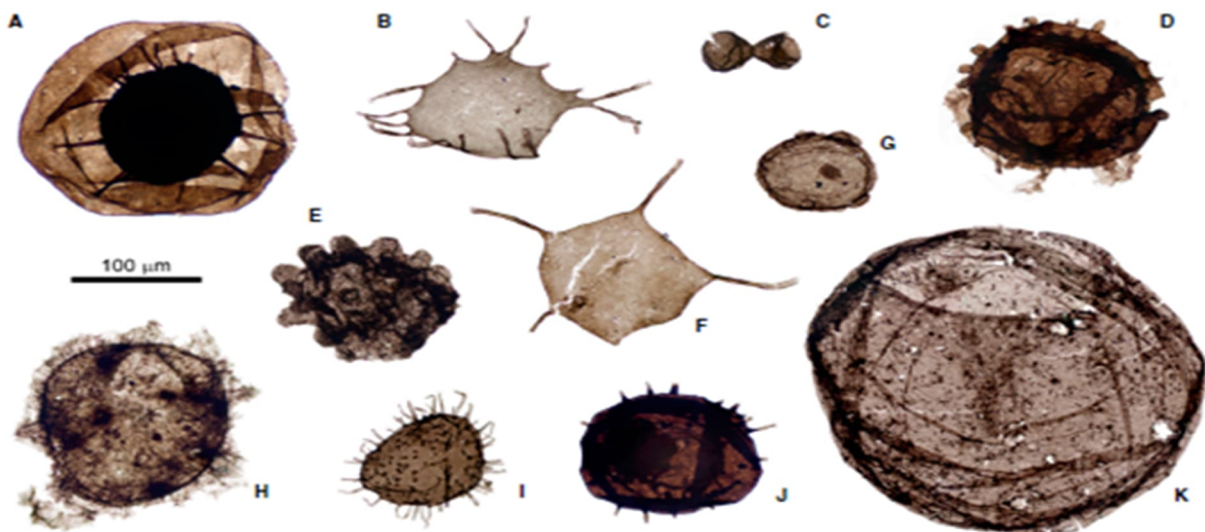
- ▶ Proszę podać główne cechy tej grupy. Jaki jest związek Eubacteriae z Eukariota? Proszę podać trzy gatunki należące do Eubacteriae i krótko je opisać.

➔ 2.2. Eukariota

Eukariota obejmują cztery królestwa:

- Protista: polifiletyczna grupa jednokomórkowych organizmów, mogą tworzyć kolonie, ale nie tworzą tkanek i narządów.
- Rośliny (Plantae): w większości organizmy wielokomórkowe mające zdolność do fotosyntezy, posiadają ścianę komórkową.
- Grzyby (Fungi): zróżnicowana grupa pod względem cykli życiowych, morfologii (jedno i wielokomórkowe). Są heterotroficzne, komórki posiadają ścianę komórkową.
- Zwierzęta (Animalia, Metazoa): organizmy wielokomórkowe, heterotroficzne. Komórki nie mają ścian komórkowej.

Pojawienie się Eukariota jest jednym z ważniejszych etapów ewolucji. Eukariota charakteryzują się wieloma cechami odróżniającymi je od Prokariota, w tym system wewnątrznych błon komórkowych, unikalne szlaki biochemiczne, białka cytoszkieletu, system transkrypcji oraz budowa jądra. Eukariota posiadają także zróżnicowany i silnie rozbudowany system sygnałowy.



Rys. 2.2. Przykłady skamieniałości Eukariota sprzed 850 mln lat (Butterfield 2015).

3. Cykl życiowy komórki

➔ 3.1. Fazy cyklu życiowego komórki

Cykl życiowy komórki to seria zdarzeń prowadząca do podziału komórki.

Fazy cyklu życiowego komórki:

● Interfaza

- ▶ G1: przygotowanie do podziału; w punkcie restrykcyjnym komórka przechodzi do fazy S lub G0.

Faza G0 jest postrzegana jako wydłużona faza G1, w której komórka się nie dzieli i nie przygotowuje do podziału, lub faza cicha występująca poza cyklem komórkowym.

- ▶ S: faza syntezy, zachodzi replikacja, zawartość DNA wzrasta z poziomu 2C do 4C;
- ▶ G2: zmiany metaboliczne przygotowujące substancje potrzebne do mitozy i cytokinezy.

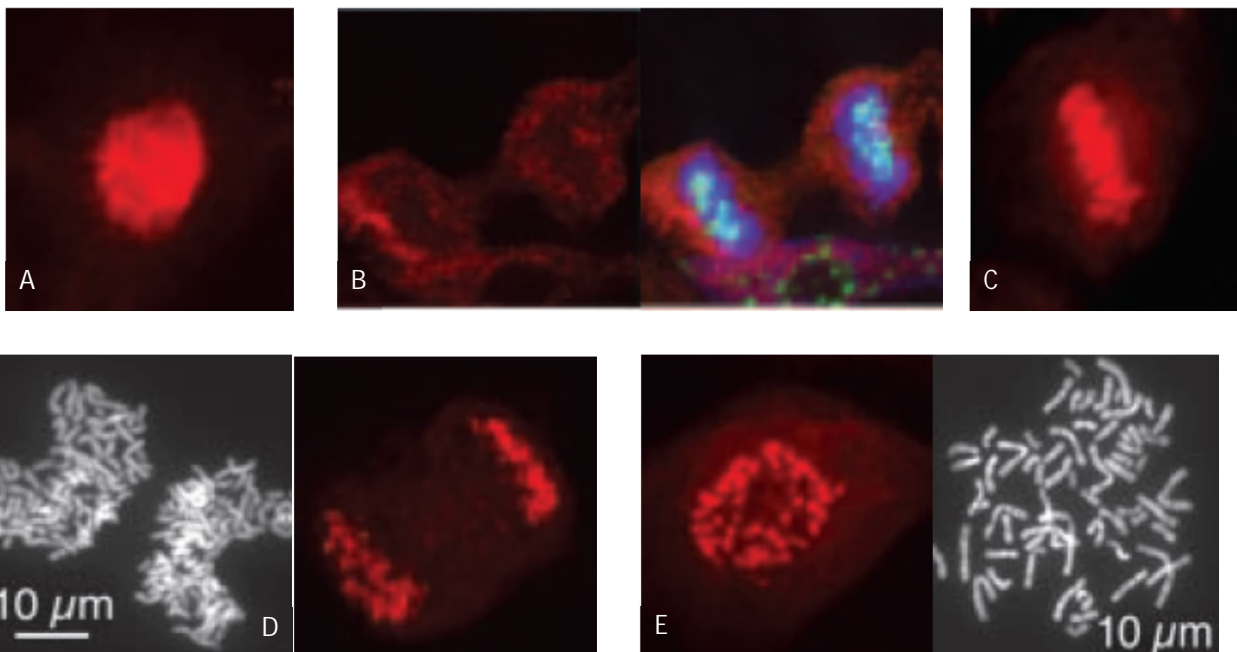
● M: faza podziału.

3.2. Mitoza

Mitoza zachodzi w komórkach somatycznych. Prowadzi do powstania takich samych komórek potomnych pod względem liczby chromosomów oraz genotypu.



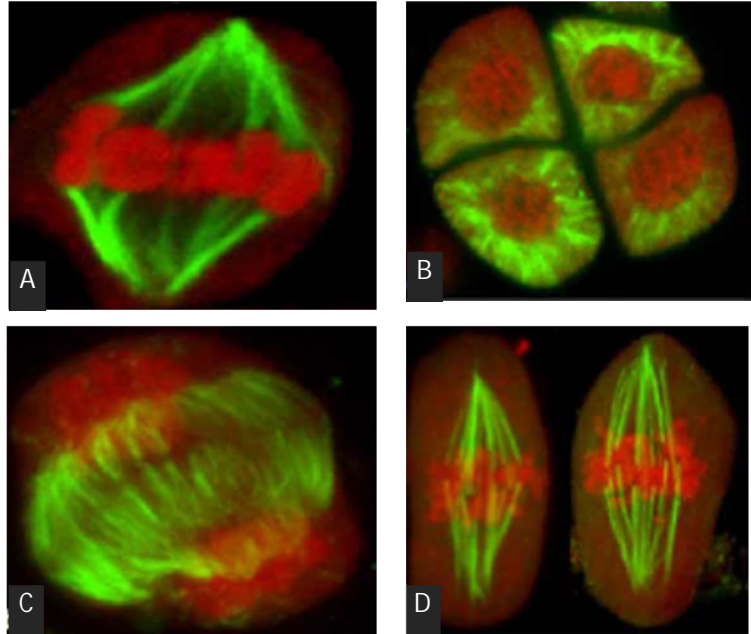
3.2.1. Na podstawie materiałów wykładowych proszę zidentyfikować fazy mitozy u człowieka na poniższych zdjęciach. Proszę opisać, na czym polega zidentyfikowana faza i jaki jest poziom DNA w danej fazie.



Rys. 3.2.1. Mitoza u człowieka

➔ 3.3. Mejoza

Mejoza jest związana z rozmnażaniem płciowym. Zachodzi w komórkach generatywnych. Prowadzi do redukcji liczby chromosomów. Komórki potomne różnią się genetycznie między sobą oraz od komórki wyjściowej. Mejoza pojawiła się na wczesnym etapie ewolucji Eukariota prawdopodobnie jako odpowiedź na stres. Wszystkie Eukariota zawierają zestaw genów związanych z mejozą, co wskazuje, że proces ten powstał tylko raz przed radiacją Eukariota od wspólnego przodka. Pierwsze komórki diploidalne mogły powstać w efekcie przypadkowej endoreplikacji (podział chromosomów bez podziału jądra). Następnie pojawił się cykl życiowy, który przełączał się między różnymi poziomami ploidalności. U niektórych współczesnych grzybów komórki diploidalne tracą chromosomy poprzez serię pośrednich aneuploidii.



Rys. 3.3.1. Mejoza.

3.3.1. Na podstawie materiałów wykładowych proszę zidentyfikować fazy mejozy przedstawione na fotografiach. Proszę opisać, na czym polega zidentyfikowana faza i jaki jest poziom DNA w danej fazie.

4. Organizmy modelowe

- Proszę wejść na stronę: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi>
- Proszę ze strony odczytać następujące informacje.

- A. Liczbę gatunków, które najczęściej wykorzystuje się w badaniach.
- B. Który z wymienionych gatunków nie jest gatunkiem modelowym?
- C. Ile gatunków ssaków znajduje się na liście.
- D. Który z wymienionych na liście gatunków ma zastosowanie w piekarnictwie oraz winiarstwie i browarnictwie?

5. Literatura

- Gozen I, Koksal ES, Poldsalu I, Xue L, Spustova K, Pedrueza-Villalmanzo E, Ryskulov R, Meng F, Jesorka A. 2022. Protocells: milestones and recent advances. *Nono-Micro Small* 18: 2106624. DOI: 10.1002/sml.202106624
- Joyce GF, Szostak JW. Protocells and RNA self-replication. 2018. *Cold Spring Harb Perspect Biol* 10:a034801. Doi:10.1101/cshperspect.a034801
- Liu B, Pappas CG, Ottele J, Schaeffer G, Jurissek C, Pieters PF, Altay M, Maric I, Stuart MCA, Otto S. 2020. Spontaneous emergence of self-replicating molecules containing nucleobases and amino acids. *J Am Chem Soc* 142:4184-4192. Dostęp: <https://dx.doi.org/10.1021/jacs.9b10796>
- Mizuuchi R, Furubayashi T, Ichihashi N. 2022. Evolutionary transition from a single RNA replicator to a multiple replicator network. *Nature Communication* 13:1460. Dostęp: <https://doi.org/10.1038/s41467-022-29113-x>
- Mulkiđjanian A, Bychkov AY, Dibrova DV, Galperin MY, Koonin EV. 2012. Origin of first cells at terrestrial, anoxic geothermal fields. *PNAS*. Dostęp: www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1117774109
- Nagy KK, Skurnik M, Vertessy BG. 2021. Viruses with U-DNA. New avenues for biotechnology. *Viruses* 13:875. Dostęp: <https://doi.org/10.3390/v13050875>
- Stano P, Mavelli F. 2015. Protocells models in origin of life and synthetic biology. *Life* 5: 1700-1702. doi:10.3390/life5041700

Odpowiedzi

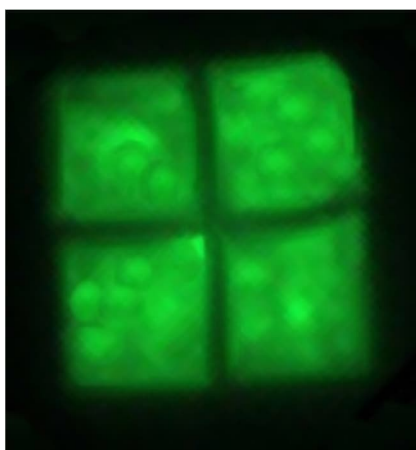
2. Komórki Prokariota i Eukariota

2.1. Prokariota

Na podstawie źródeł internetowych proszę scharakteryzować:

A. Archaea: proszę podać główne cechy tej grupy, podać trzy gatunki należące do Archaea. Jaki jest związek Archaea z Eukariota?

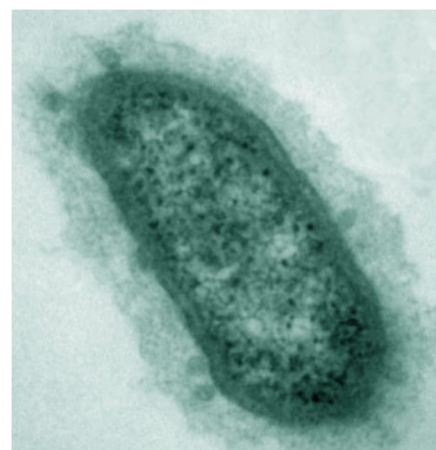
- Jednokomórkowe organizmy pozbawione jądra.
- Wykorzystują różnorodne źródła energii, niektóre korzystają z energii słonecznej, inne mogą wiązać węgiel. Nie są znane Archaea, które jednocześnie wykorzystują energię słoneczną i wiążą węgiel.
- Stanowią element mikrobiomu wszystkich organizmów żywych, w tym człowieka. Formy pasożytnicze lub patogenne nie są znane.
- Występują we wszystkich środowiskach. Pierwsze formy wykryto w środowiskach ekstremalnych.
- Dzielą się przez podział.
- Związek z Eukariota: posiadają geny i szlaki metaboliczne, w tym enzymy zaangażowane w transkrypcję i translację, które są podobne do tych w komórkach Eukariota.



Rys. 2.1a *Haloquadratum walsbyi*. Charakteryzuje się kwadratowym kształtem komórek. Jest halofitem.



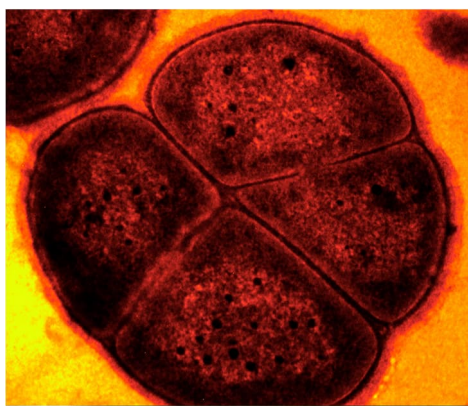
Rys. 2.1b *Sulfolobus*. Rodzaj występujący w gorących źródłach Yellowstone, toleruje do 92°C oraz pH od 2,0 do 3,0 (Fot. Justyna Olszewska).



Rys. 2.1c *Methanobrevibacter smithii*. Występuje w przewodzie pokarmowym człowieka, wspomaga trawienie polisacharydów. Częściej występuje u osób szczupłych.

B. Eubacteria: proszę podać główne cechy tej grupy, podać trzy gatunki należące do Eubacteria. Jaki jest związek Eubacteria z Eukariota?

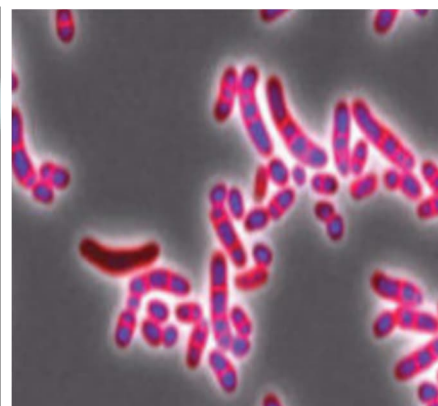
- Jednokomórkowe organizmy stanowiące osobną domenę. Pozbawione jądra.
- Występują we wszystkich środowiskach, w tym w przewodzie pokarmowym człowieka, na skórze, wiele form jest pasożytniczych.
- Wykazują duże zróżnicowanie pod względem kształtu i rozmiarów.
- Mogą tworzyć kolonie lub agregaty, przyczepiają się do powierzchni tworząc film.
- Bakterie posiadają ścianę komórkową, która zbudowana jest z peptydoglikanów (łańcuchy polisacharydowe). Niektóre antybiotyki blokują syntezę peptydoglikanów, co prowadzi do zniszczenia komórki.
- Wyróżnia się bakterie Gram-dodatnie z grubą ścianą i Gram-ujemne z cienką ścianą. Nazwa wywodzi się od barwienia bakterii barwnikiem Grama.
- Dzielą się przez podział.
- Związek z Eukariota: **dały początek mitochondriom.**



Rys. 2.1d *Deinococcus radiodurans*. Ekstremofil, jedna z najbardziej odpornych na promieniowanie bakterii, wytrzymuje do 500 tys. radów. Ponadto odporna na zimno, odwodnienie, ciśnienie, niskie pH.



Rys. 2.1e *Neisseria meningitidis*. Dwójka zapalenia opon mózgowo-rdzeniowych. Wielocukrowa otoczka chroni ją przed fagocytozą. Są zdolne do adhezji do komórek nabłonkowych śluzówki jamy nosowej.



Rys. 2.1f *Corynebacterium glutamicum*. Wykorzystywana do przemysłowej produkcji aminokwasów, ponadto może być wykorzystana w procesach fermentacyjnych, produkcji witamin oraz w przemyśle kosmetycznym.

3. Cykl życiowy komórki

3.2. Mitoza

3.2.1. Na podstawie materiałów wykładowych proszę zidentyfikować fazy mitozy u człowieka na poniższych zdjęciach. Proszę opisać, na czym polega zidentyfikowana faza i jaki jest poziom DNA w danej fazie.

A. Interfaza

- ▶ Składa się z G1, S, G2. Komórka przygotowuje się do podziału.
- ▶ Poziom DNA:
 - G1: 2C
 - S: po zakończeniu 4C
 - G2: 4C

B. Telofaza

- ▶ Odtwarzana jest błona jądrowa, uwidacznia się jąderko, chromosomy się despiralizują, zachodzi cytokineza.
- ▶ Poziom DNA: 2C

C. Metafaza

- ▶ Chromosomy występują w postaci najbardziej skondensowanej, podzielone są na dwie chromatydy, które połączone są centromerem. Każda chromatyda odpowiada jednej cząsteczce DNA, zatem chromosomy metafazowe składają się z dwóch cząsteczek DNA. Chromosomy ustawiają się w płaszczyźnie równikowej komórki tak, że chromatydy skierowane są do biegunów, na równiku znajdują się centromery. Odbywa się synteza DNA centromerowego.
- ▶ Poziom DNA: 4C

D. Anafaza

- ▶ Chromatydy siostrzane przemieszczają się do przeciwległych biegunów. Rozdzielenie chromatyd jest wynikiem syntezy DNA centromerowego, degradacji kohezyn utrzymujących chromatydy, za pomocą peptydazy (separaza), skracania się mikrotubuli.
- ▶ Poziom DNA: 4C (cały czas jest to jedna komórka, mimo, iż chromatydy są na przeciwległych biegunach).

E. Profaza

- ▶ Chromosomy stają się widoczne na skutek procesów kondensacyjnych przy pomocy kondensyny. Wrzeciono podziałowe rozpoczyna się formować.
- ▶ Poziom DNA: 4C

3.3. Mejoza

3.3.1. Na podstawie materiałów wykładowych proszę zidentyfikować fazy mejozy przedstawione na fotografiach. Proszę opisać na czym polega zidentyfikowana faza i jaki jest poziom DNA w danej fazie.

A. Metafaza I

- ▶ Biwalenty (pary chromosomów homologicznych) ustawiają się w płaszczyźnie równikowej w ten sposób, że ramiona chromosomów są skierowane do równika, centromery znajdują się naprzeciw siebie. Parują również chromosomy płci (np. X i Y).
- ▶ Poziom DNA: 4C

B. Telofaza II

- ▶ Powstają jądra potomne, dochodzi do cytokinezy. Telofazę II rozpoznaje się po czterech połączonych komórkach potomnych. U ssaków faza ta różni się u samców i u samic. U samców powstają cztery komórki potomne z każdego spermatogonium. U samic cytokineza jest asymetryczna, w komórce jajowej gromadzone jest większość cytoplazmy, pozostałe trzy haploidalne komórki tworzą ciała polarne z niewielką ilością cytoplazmy.

- ▶ Poziom DNA: 1C

C. Telofaza/anafaza I

- ▶ Chromosomy homologiczne znajdują się na przeciwległych biegunach. W anafazie dochodzi do redukcji liczby chromosomów o połowę. Telofaza jest krótka, najczęściej nie zachodzi cytokineza.

- ▶ Poziom DNA: 2C

D. Metafaza II

- ▶ Chromosomy ustawiają się w płaszczyźnie równikowej, podobnie jak w mitozie, chromatydy skierowane na zewnątrz, w kierunku biegunów, centromer leży w płaszczyźnie równikowej.

- ▶ Poziom DNA: 2C

4. Organizmy modelowe

- ▶ Proszę wejść na stronę:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi>

- ▶ Proszę ze strony odczytać następujące informacje:

A. Liczbę gatunków, które najczęściej wykorzystuje się w badaniach (21)

B. Który z wymienionych gatunków nie jest gatunkiem modelowym? (*Homo sapiens*)

C. Ile gatunków ssaków znajduje się na liście. (4)

D. Który z wymienionych na liście gatunków ma zastosowanie w piekarnictwie oraz winiarstwie i browarnictwie? (*Saccharomyces cerevisiae*)

The screenshot shows the NCBI Taxonomy Browser interface. The search bar contains 'as' and the results are filtered to '3 levels using filter: none'. Below the search bar, there is a list of taxonomic levels: Archaea, Bacteria, Eukaryota, Viruses, Other, and Unclassified. A section titled 'These are direct links to some of the organisms commonly used in molecular research projects:' lists various model organisms such as *Arabidopsis thaliana*, *Bos taurus*, *Caenorhabditis elegans*, *Chlamydomonas reinhardtii*, *Danio rerio* (zebrafish), *Dictyostelium discoideum*, *Drosophila melanogaster*, *Escherichia coli*, *Hepatitis C virus*, *Homo sapiens*, *Mus musculus*, *Mycoplasma pneumoniae*, *Oryza sativa*, *Plasmodium falciparum*, *Pneumocystis carinii*, *Rattus norvegicus*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Schizosaccharomyces pombe*, *Takifugu rubripes*, *Xenopus laevis*, and *Zea mays*.