



# Ewolucja biologiczna i bioróżnorodność

Kornelia Polok i Roman Zieliński  
Biologia molekularna, lekarski  
2023/2024

## Ewolucja i metody jej badania

*"Ewolucja! Jaka tam ewolucja. Zanim trafię do jednego myślącego muszę stoczyć bitwę z dziewięcioma orangutanami"*  
Carlos Ruiz Zafon



## Ewolucja biologiczna i bioróżnorodność

- 1) Historia życia na Ziemi
  - Ziemia
  - Świat RNA
  - Drzewo życia
- 2) Ewolucja biologiczna
  - Etymologia
  - Współczesne rozumienie
- 3) Zmienność
  - Zmienność i bioróżnorodność
  - Źródła zmienności
  - Zmienność genetyczna
- 4) Metody badania ewolucji
  - Ślady kopalne i molekularne
  - Filogeneza



## 1. Historia życia na Ziemi - Ziemia



Ziemia ma 4,6 mld lat

Najstarsze skały -  
3,8 mld lat

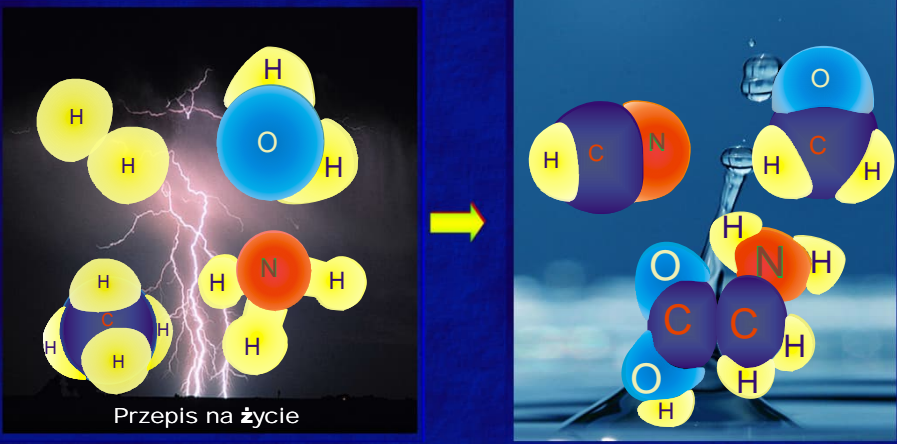
Ślady życia -  
3,5 mld lat






### 1. Historia życia na Ziemi - Ziemia

Proste związki organiczne powstały w wyniku reakcji abiotycznych.



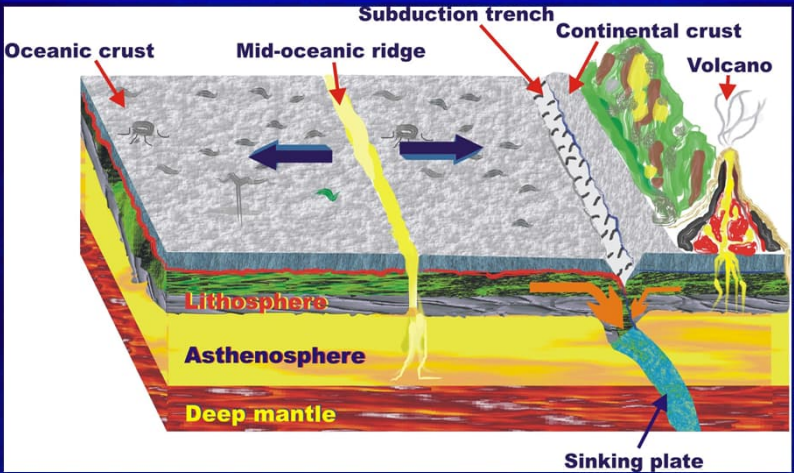
Przepis na życie

Ewolucja i selekcja naturalna może występować w nieżyjących systemach replikujących cząsteczek.



### 1. Historia życia na Ziemi - Ziemia

Życie powstało i skupia się na „cienkiej” skorupie litosfery.




Oceanic crust      Mid-oceanic ridge      Subduction trench      Continental crust      Volcano

Lithosphere

Asthenosphere

Deep mantle

Sinking plate



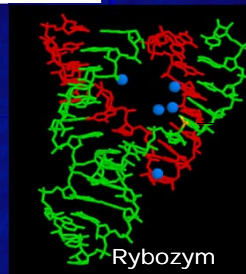
## 1. Historia życia na Ziemi – Świat RNA

RNA był nośnikiem informacji genetycznej i katalizował reakcje chemiczne w prymitywnych komórkach.



Do powstania życia niezbędne są cząsteczki, które mają zdolność do autokatalizy

Cząsteczki wchodzące w skład organizmów żywych powstały w drodze reakcji katalizowanych przez metale na powierzchni minerałów



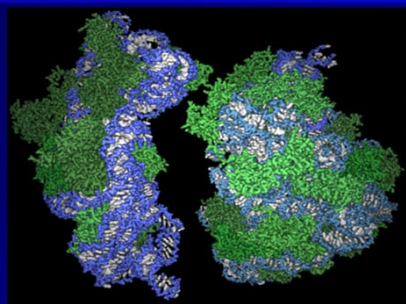
Rybozym

Rybozym to cząsteczka RNA zdolna katalizować swoją własną syntezę, a także inne reakcje biochemiczne.



## 1. Historia życia na Ziemi – Świat RNA

Rybosom, który jest faktycznie rybozymem jest dowodem popierającym hipotezę „Świata RNA”.



Rybosom: białka i RNA  
Translacja katalizowana jest przez RNA, nie białko.  
Wykorzystanie RNA w wczesnych form życia poprzedzało wykorzystanie białek

Pozostałości „Świata RNA”:

- mechanizm wycinania intronów (self-splicing);
- Rnaza-P (trawii prekursorzy tRNA),
- wycinanie wirusowego RNA,
- rybonukleotydy uczestniczące w procesach metabolicznych

Hipoteza zakładająca, że RNA jest pierwotnym materiałem genetycznym została sformułowana w 1968 r. przez Orgela i Crick'a.

Wraz z gromadzeniem się białek, DNA zastąpił RNA. DNA jest bardziej stabilny i odporny na błędy.







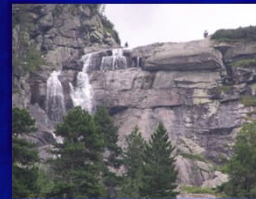
## 1. Historia życia na Ziemi – geografia

Organizmy żywe występują na wszystkich kontynentach, we wszystkich środowiskach.



Rozmieszczenie geograficzne organizmów wynika z:

- ich ewolucji
- procesów geologicznych
- ewolucji biosfery



Zasięg gatunków może kurczyć się i rozszerzać w zależności od zmian środowiska.



## Ewolucja biologiczna i bioróżnorodność

### 1) Historia życia na Ziemi

- Ziemia
- Świat RNA
- Drzewo życia

### 2) Ewolucja biologiczna

- Etymologia
- Współczesne rozumienie

### 3) Zmienność

- Zmienność i bioróżnorodność
- Źródła zmienności
- Zmienność genetyczna

### 4) Metody badania ewolucji

- Ślady kopalne i molekularne
- Filogeneza





## 2. Ewolucja biologiczna - etymologia

Łacina: *evolvere* = uwidoczn*ić*, rozwin*ąć*, otworz*yc*,  
Angielski: stopniowa zmiana, np. ewolucja polityki, ewolucja gwiazd.



Ewolucja biologiczna: pierwotne znaczenie = stopniowa zmiana

1832: Charles Lyell, geolog **użył** po raz pierwszy, Darwin: **użył** tylko raz, preferował „potomstwo z modyfikacjami”.



## 2. Ewolucja biologiczna – definicja współczesna

Ewolucja biologiczna to zmiany cech u grup organizmów na przestrzeni pokoleń.



Zmienność



Dziedziczność

- 1 Zmienność (Variation)
- 2 Dziedziczność (Inheritance)
- 3 Selekcja (Selection)
- 4 Czas (Time)

**V-I-S-T.**

“Ewolucja to wszystkie etapy rozwoju wszechświata: rozwój kosmosu, rozwój biologiczny i ludzkości, rozwój kulturowy. Jakkolwiek próby ograniczenia pojęcia ewolucji do biologii są nieuzasadnione”.

T. Dobzhansky



## 2. Ewolucja biologiczna – definicja współczesna

Procesy ewolucyjne są zróżnicowane i nie można wyróżnić „praw uniwersalnych”.



Wielkość genomu różni się znacznie

Wielkość genomu zwiększa się w trakcie ewolucji

Typy zmian ewolucyjnych (patterns of evolution) – uogólnienia dotyczące najczęściej występujących typów zmian.



## Ewolucja biologiczna i bioróżnorodność

- 1) Historia życia na Ziemi
  - Ziemia
  - Świat RNA
  - Drzewo życia
- 2) Ewolucja biologiczna
  - Etymologia
  - Współczesne rozumienie
- 3) Zmienność
  - Zmienność i bioróżnorodność
  - Źródła zmienności
  - Zmienność genetyczna
- 4) Metody badania ewolucji
  - Ślady kopalne i molekularne
  - Filogeneza





### 3. Zmienność

Zmienność = Variation



Zmienność form w obrębie gatunku



Zmienność form w ekosystemie, na Ziemi



### 3. Zmienność i bioróżnorodność

Bioróżnorodność – zmienność form życiowych w obrębie danego ekosystemu, a także na całej Ziemi.



Formy organizmów żyjących na Ziemi mogą być zdumiewające



Kambryj



Ordowik



### 3. Zmienność i bioróżnorodność

Różnicowanie taksonów obejmuje zwiększenie liczby gatunków oraz zróżnicowanie form i zamieszkiwanych siedlisk.



- Liczba gatunków w ekosystemie określa bioróżnorodność
- Rozmieszczenie geograficzne taksonów zmienia się

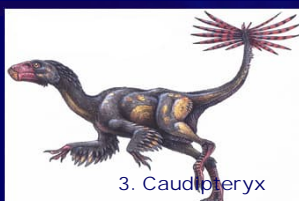


Ewolucja polega na przystosowaniu się organizmów do zmieniających się warunków.



### 3. Zmienność – źródła zmienności

Zmiany ewolucyjne cech najczęściej mają charakter ilościowy (mikroewolucja).





### 3. Zmienność – źródła zmienności

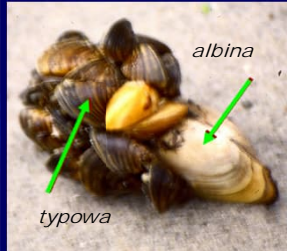
Niektóre cechy zmieniają się skokowo.



*Biston betularia typica*



*Biston betularia carbonaria*



*Dreissena polymorpha*



*Pinus uliginosa*



*Pinus mugo*

Znaczne zmiany morfologiczne mogą być efektem mutacji w jednym genie.



### 3. Zmienność – źródła zmienności

Czy każda zmiana fenotypu ma znaczenie ewolucyjne?



*Pellia endiviifolia*



*Pisum sativum*

Zmienność ma znaczenie ewolucyjne tylko wówczas, gdy jest uwarunkowana genetycznie – zmienność genetyczna.



### 3. Zmienność – zmienność genetyczna

Fenotyp = genotyp + środowisko

Zmienność środowiskowa

Zmienność genetyczna

Zmienność genetyczna jest podstawą ewolucji. Nie można zrozumieć ewolucji bez zrozumienia zmienności genetycznej.

### 3. Zmienność – zmienność genetyczna


„Duże” zmiany i różnice pomiędzy gatunkami powstały jako zmienność genetyczna w obrębie gatunku.

Doświadczenia w warunkach kontrolowanych pozwalają odróżnić zmienność genetyczną od środowiskowej.



## Ewolucja biologiczna i bioróżnorodność

- 1) Historia życia na Ziemi
  - Ziemia
  - Świat RNA
  - Drzewo życia
- 2) Ewolucja biologiczna
  - Etymologia
  - Współczesne rozumienie
- 3) Zmienność
  - Zmienność i bioróżnorodność
  - Źródła zmienności
  - Zmienność genetyczna
- 4) Metody badania ewolucji
  - Ślady kopalne i molekularne
  - Filogeneza



## 4. Metody badania ewolucji – Ślady kopalne

Skamieniałości – zachowane szczątki organizmów oraz ich lokalizacja w skałach wulkanicznych i osadowych.

Skały wulkaniczne

 Bazalt	 Ametyst	 Jaja dinozaurów	 Owad w bursztynie
---	--	---	--

Skały osadowe

 Sandstone	 Limestone	 Crissopteris	 Sigillaria
--	--	--	---

Skamieniałościami są szczątki powyżej 10 000 lat.



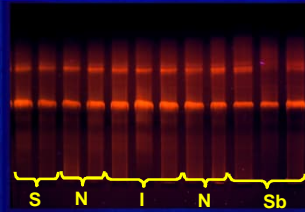
## 4. Metody badania ewolucji - Ślady molekularne

Ewolucja molekularna: proces polegający na zmianie materiału dziedzicznego (DNA) w populacji na przestrzeni czasu.

- 1 Wykorzystanie DNA lub białek do badania ewolucji organizmów (struktury populacji, zmienności, systematyki)



*Pinus cembra*, nieznanego pochodzenia introdukowana w Dolinie Kościeliskiej nie różni się genetycznie od limby tatrzańskiej

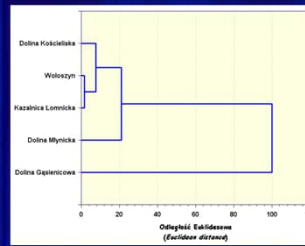


S – Tatry słowackie

N – Tatry polskie, rodzima

I – Tatry polskie, introdukowana, Dolina Kościeliska

Sb – Syberia, *P. cembra*, *sibirica*

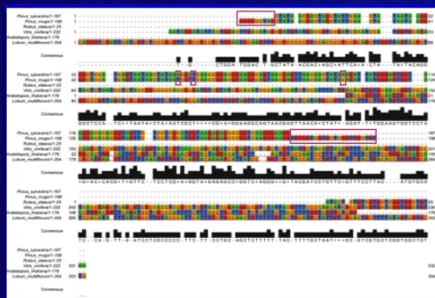


DNA jest „dokumentem historycznym” – może wiele powiedzieć o związkach pomiędzy organizmami.

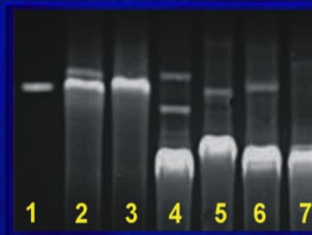


## 4. Metody badania ewolucji - Ślady molekularne

- 2 Wykorzystanie różnych organizmów do badania ewolucji DNA



Ewolucja peroksydazy u wybranych gatunków roślin



1. *P. sylvestris*

2. *P. mugo*

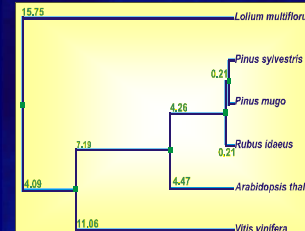
3. *A. thaliana*

4. *R. idaeus*

5. *V. vinifera*

6. *M. sativa*

7. *L. multiflorum*



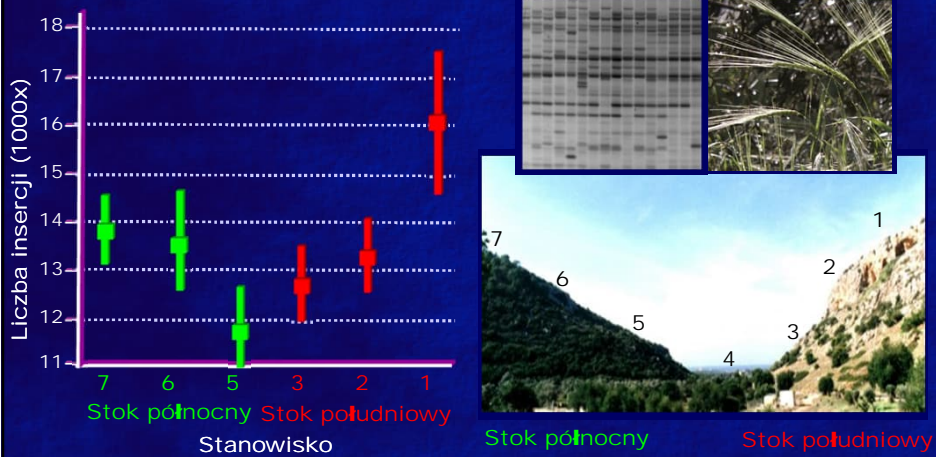
Sekwencje DNA i białek mówią o ewolucji genów i genomów.





#### 4. Metody badania ewolucji - ślady molekularne

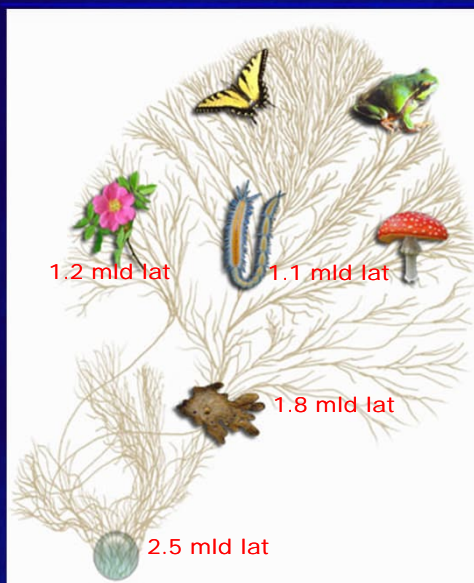
Ewolucja molekularna dotyczy także DNA niekodującego - remobilizacja transpozonów u *H. spontaneum*.



Liczba kopii transpozonu BARE-1 wzrasta wraz z wysokością



#### 4. Metody badania ewolucji - filogeneza



Filogeneza: opis jak poszczególne taksony powstawały od wspólnego przodka. Może być pokazana jako „Drzewo życia”

Filogeneza przedstawia przebieg ewolucji, ale nie tłumaczy jej mechanizmów. Dlatego powinna być rozpatrywana wspólnie z ewolucją.

Filogeneza jest tradycyjnie związana z klasyfikacją gatunków (systematyka).



### 4. Metody badania ewolucji - filogeneza

Drzewo filogenetyczne – forma przedstawienia powiązań filogenetycznych pomiędzy organizmami lub genami.

Drzewo ukorzenione (UPGMA)      Drzewo nieukorzenione

Istnieją różne metody konstruowania drzew np., UPGMA, N-J, minimalny dystans.

### 4. Metody badania ewolucji - filogeneza

Drzewo konstruowane na podstawie wielu cech, wielu genów, wielu sekwencji reprezentuje drzewo gatunków.

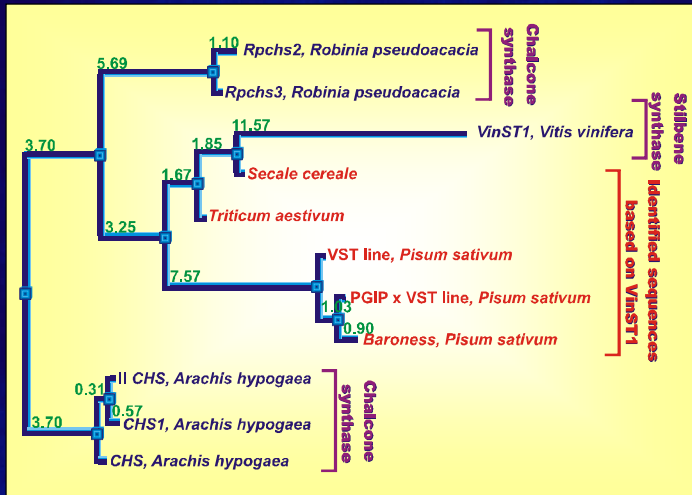
Drzewo „konsensus” dla rodzaju *Lolium* na podstawie 2894 sekwencji

Drzewo dla populacji *L. multiflorum* i *L. perenne* na podstawie markerów RAPD



#### 4. Metody badania ewolucji - filogeneza

Drzewo konstruowane na podstawie jednego genu/sekwencji jest drzewem genu, które nie musi być zgodne z drzewem gatunków.

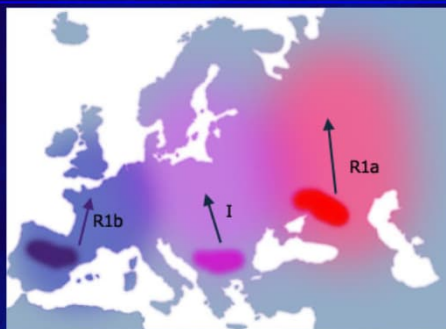


N-J drzewo skonstruowane na podstawie sekwencji syntetazy stilbenowej i chalkonowej

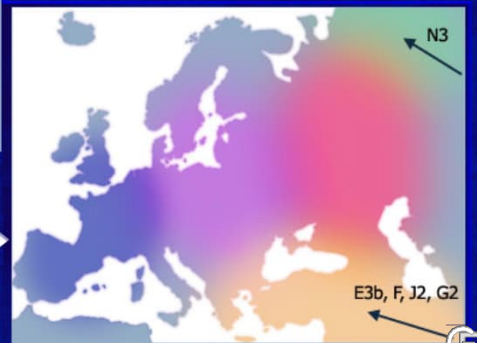


#### 4. Metody badania ewolucji - filogeneza

Filogeografia – geograficzne rozmieszczenie linii genów w obrębie populacji lub blisko spokrewnionych gatunków.



Rozmieszczenie haplotypów człowieka (chromosom Y) 12 000 lat temu w Europie



Rozmieszczenie haplotypów człowieka (chromosom Y) 8 000 lat temu w Europie



## 4. Metody badania ewolucji – zasady

Liczba technik i metod obliczeniowych w badaniach ewolucyjnych jest ogromna. Główne zasady to:

### Techniki:

- Wykorzystać dane dotyczące wszystkich możliwych poziomów.
- Wykorzystać możliwie różnorodne techniki molekularne.
- O ile to możliwe przeprowadzić analizy genetyczne, w tym sprawdzić obecność bariery reprodukcyjnej.
- Wykorzystać dane dotyczące rozmieszczenia, dane historyczne.

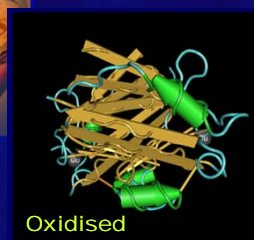
### Metody:

- W analizie uwzględnić grupę zewnętrzną, spoza badanego taksonu.
- Wykorzystać różne techniki obliczania odległości i grupowania taksonów.
- Mieć dostęp do możliwie dużej liczby danych umożliwiającą zastosowanie metod statystycznych.



## 4. Metody badania ewolucji – zasady

O czym mówią skamieniałości?



```
-PGSLTME-GELPCVLTPTIIFIVVNSLLPSV LTVSY-  
-PGSLTME-GELPCVLTPTIICIVVNSLLPSV LNDYSY-  
-PSEYAEVATLSSVHMVVVLYCSITSEDSOLLVYEL-  
-TPPOLG-YAGPLDGVSLAMFCVVICSHMPLTFLMCCFA-  
-PSTTKKRESKGGKMGEDLNEPVASPGKSKK-  
-T L S - - - - - C E V A - - - - -
```

Skamieniałości mówią o zmianach fenotypowych w liniach oraz o zróżnicowaniu genetycznym w czasie.



## Zagadnienia 1-3

1. Historia życia na Ziemi - Ziemia
  - Kiedy powstało życie na Ziemi?
  - Czy w warunkach abiotycznych może wystąpić selekcja naturalna? Podaj przykład.
  - Co oznacza stwierdzenie: „życie występuje na Ziemi”?
2. Historia życia na Ziemi: Świat RNA
  - Jaka cząsteczka pierwotnie pełniła funkcję nośnika informacji genetycznej? Uzasadnij odpowiedź.
  - Co to jest rybozym?
  - Co świadczy o istnieniu „Świata RNA”?
3. Historia życia na Ziemi: Drzewo życia, geografia
  - Czy istnieją obecnie na Ziemi miejsca, które przypominają warunki w jakich powstawało życie?
  - Czy skamieniałości odzwierciedlają w pełni różnorodność form życia na Ziemi?
  - Co to jest LUCA?
  - Jakie domeny wyróżniamy wśród organizmów żywych.
  - Czy współczesne Eucarya mają więcej wspólnego z Bacteria czy Archaea. Uzasadnij odpowiedź.
  - Jakie procesy przyczyniły się do obecnego rozmieszczenia geograficznego organizmów żywych.



## Zagadnienia 4-6

4. Ewolucja biologiczna
  - Jak definiujemy ewolucję biologiczną i jakie procesy się na nią składają?
  - Czy istnieją uniwersalne prawa ewolucji? Uzasadnij odpowiedź.
5. Zmienność
  - Co to jest bioróżnorodność?
  - Jak mierzy się bioróżnorodność ekosystemu?
  - Co obejmuje różnicowanie taksonów?
  - Co to jest mikroewolucja?
  - Podaj przykłady cech zmieniających się skokowo? Jaka jest genetyczna podstawa tych zmian?
  - Jaki warunek musi być spełniony, aby obserwowana zmienność mogła mieć znaczenie ewolucyjne?
  - Podaj przykład zmienności środowiskowej i genetycznej.
  - Jak odróżnić zmienność genetyczną od środowiskowej?
  - Mniszek lekarski na niżu osiąga średnio około 30 cm wysokości natomiast w górach 15 cm. Z jakim typem zmienności mamy do czynienia? Udowodnij odpowiedź.
6. Metody badania ewolucji: ślady kopalne
  - Co to jest skamieniałość?
  - Gdzie znajdujemy skamieniałości?
  - Czy DNA jest skamieniałością? Proszę uzasadnić odpowiedź.



## Zagadnienia 7-9

7. Metody badania ewolucji: ślady molekularne
  - Co to jest ewolucja molekularna?
  - Jakie cząsteczki biologiczne wykorzystujemy w badaniach ewolucji na poziomie molekularnym?
  - Podaj przykład ewolucji obserwowanej na poziomie elementów ruchomych DNA (transpozonów).
  - Jakie procesy mogą zachodzić u organizmów w warunkach stresowych np. poddanych działaniu wysokiej temperatury, narażonych na suszę?
8. Metody badania ewolucji - filogeneza
  - Co to jest filogeneza?
  - Czym rozważania filogenetyczne różnią się od rozważań ewolucyjnych?
  - Co to jest drzewo filogenetyczne?
  - Czym różni się drzewo filogenetyczne skonstruowane na podstawie wielu sekwencji (cech) od drzewa skonstruowanego na podstawie pojedynczego genu (sekwencji)?
  - Przeprowadzono analizę syntetazy stillbenowej u kilku gatunków zbóż i na tej podstawie wnioskowano o ewolucji. Czy postępowanie to było prawidłowe.
  - Co to jest filogeografia. Podaj przykład tego typu badań u człowieka.
9. Metody badania ewolucji - zasady
  - Jakimi zasadami należy się kierować przy wyborze techniki do badań ewolucyjnych?
  - Jakie elementy powinna zawierać metodyka badań ewolucyjnych?



## Centre for Evolution, Genomics and Biomathematics, e-Gene



prof.romanzielinski@gmail.com

polokkornelia@gmail.com

<https://www.matgen.pl>