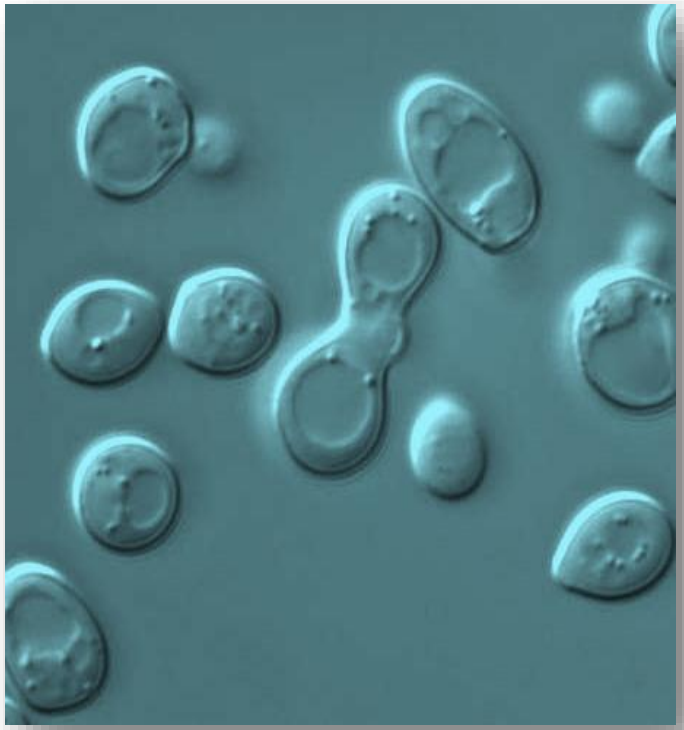
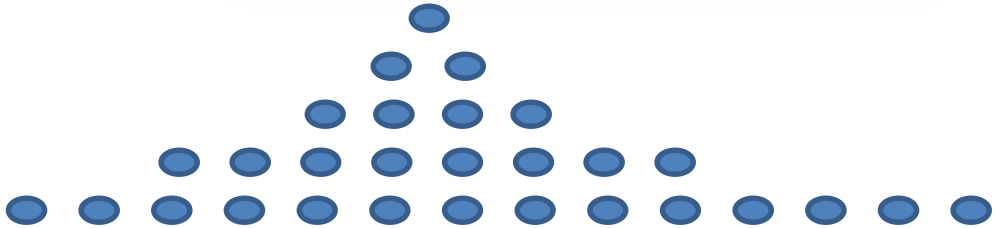
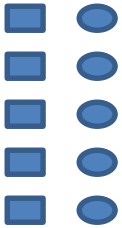
Польза и вред секса и рекомбинации

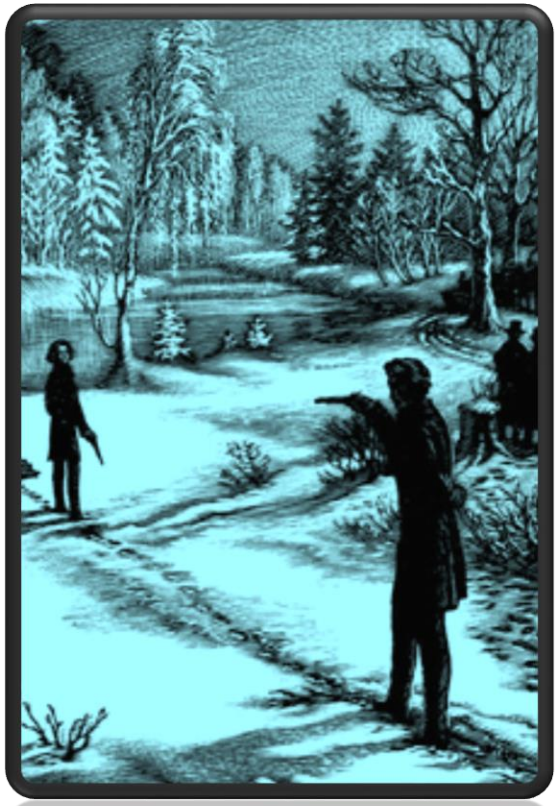
Сравнительная эффективность беспологого и полового размножения







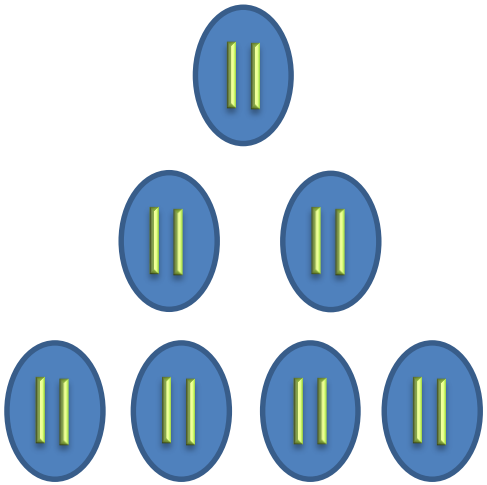
Плата за половое размножение

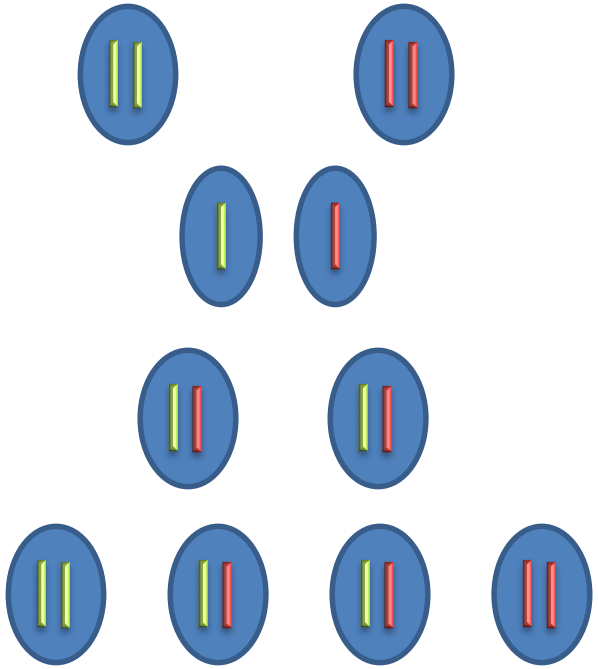


Плата за половое размножение: груз самцов

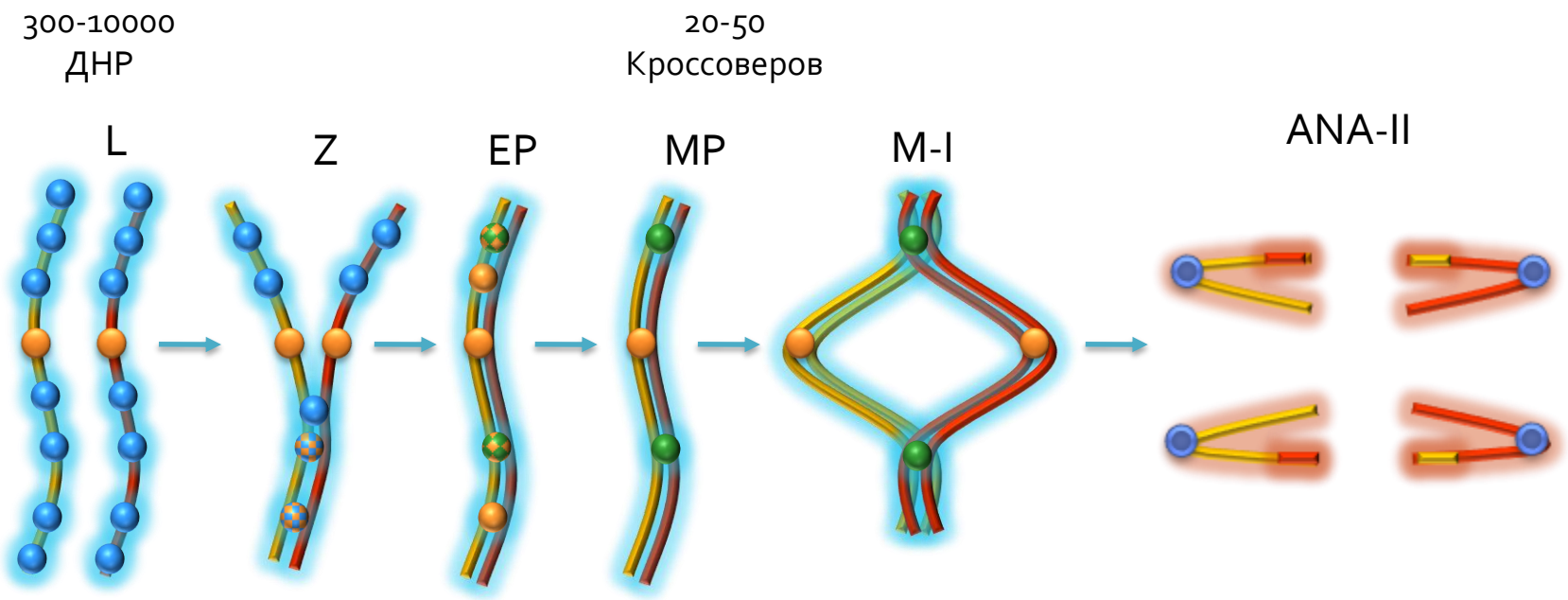
Плата за мейоз

потомки бесполых наследуют ВСЕ гены родителя,
потомки половых - только половину





Плата за мейоз



Нарезать ДНК в лапшу

Из 20 ДНР сделать один кроссинговер

Разрушить опробованные аллельные ассоциации
и создать неизвестно какие, но новые

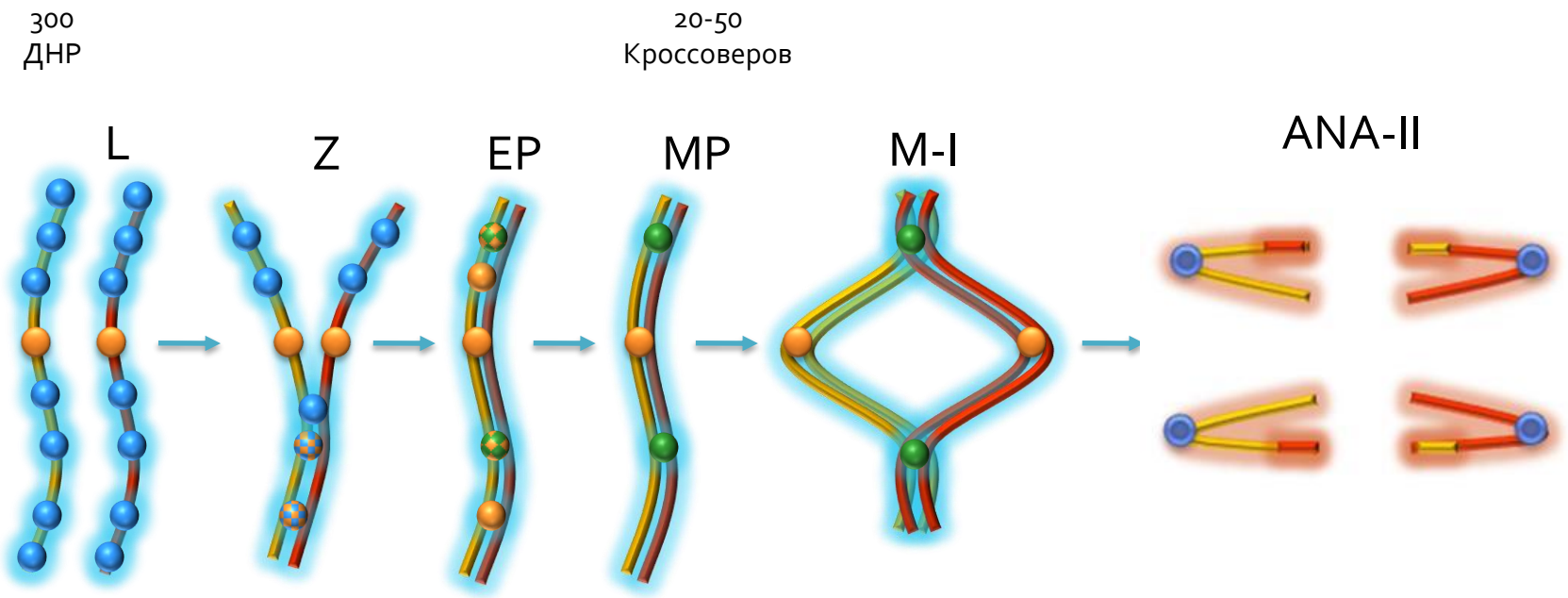
Если плата за секс и рекомбинацию так высока, почему они возникли в ходе эволюции и так сильно распространены среди эукариот?

Это могло произойти только в том случае, если преимущества сильно прикрывают недостатки

Преимущества рекомбинации

1. Репарация мутаций

2. Быстрое накопление благоприятных комбинаций мутаций

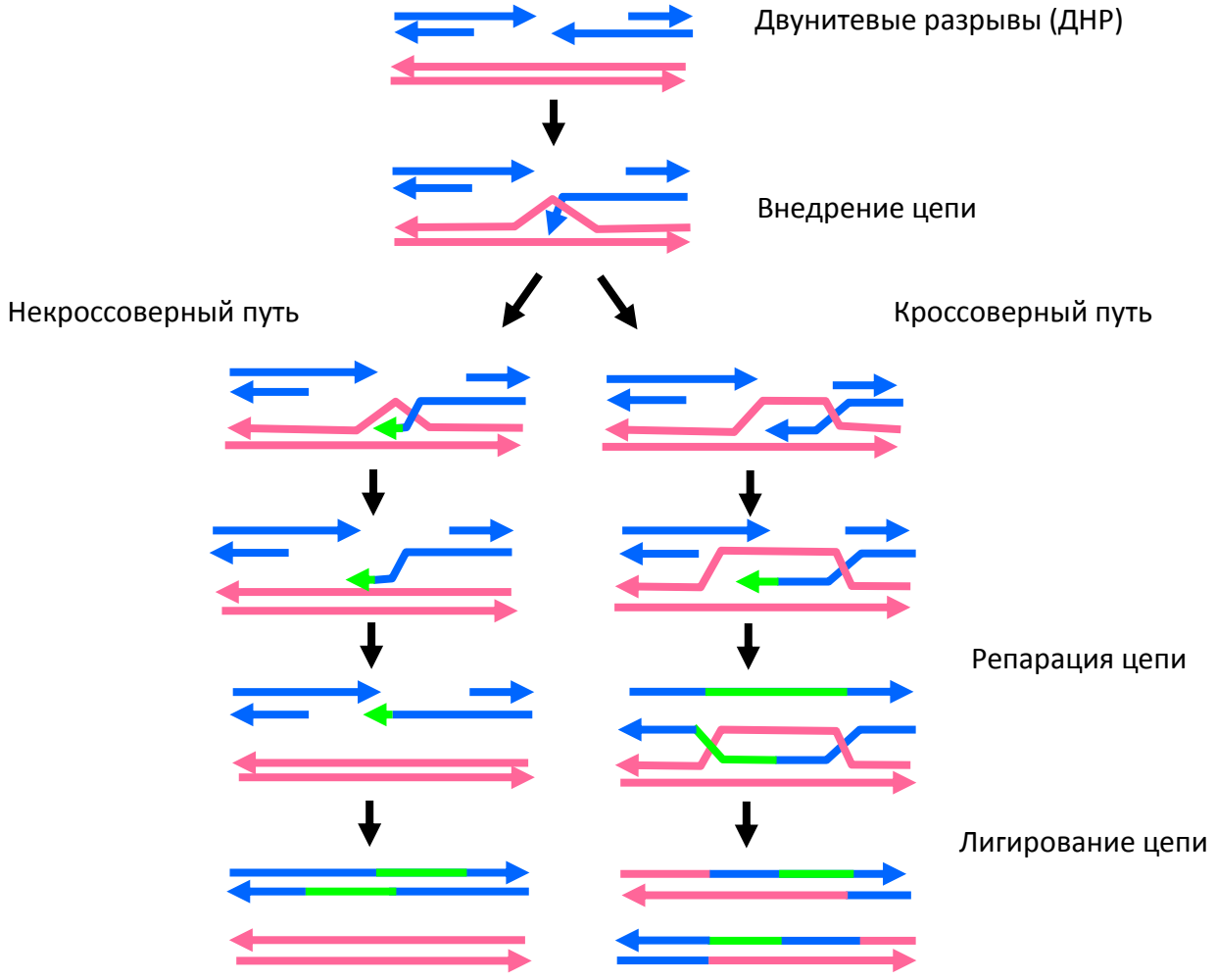


Использовать ДНР для поиска гомологии

Репарировать мутации по интактной копии

Разрушить старые аллельные ассоциации и создать новые

Преимущества рекомбинации
1. Репарация мутаций



Использование ДНР для репарации

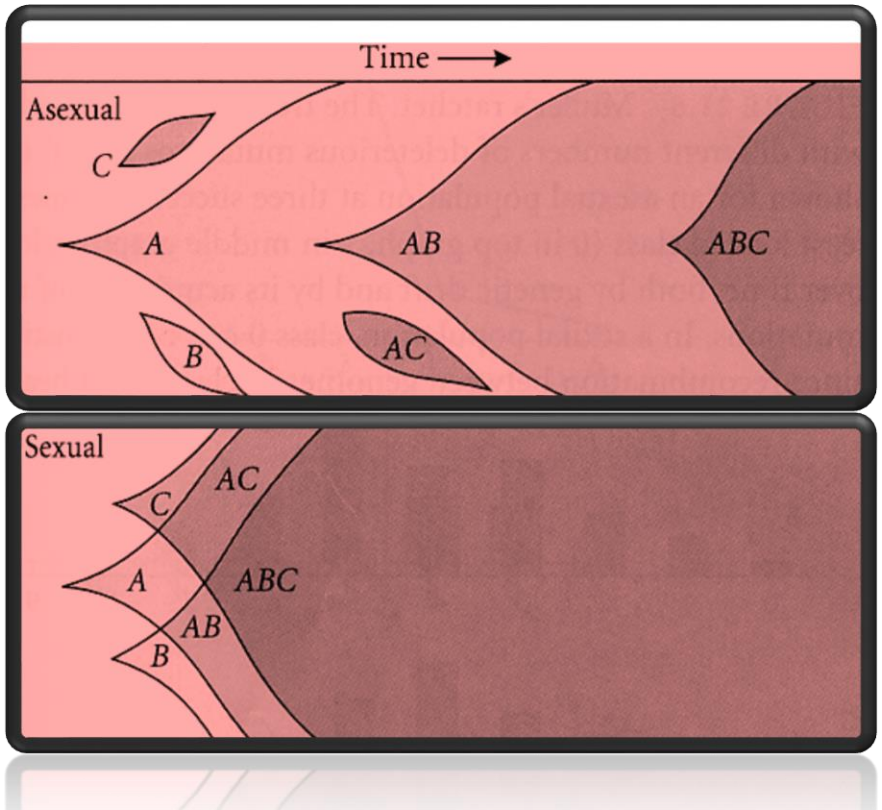
Преимущества рекомбинации
2. Быстрое накопление благоприятных комбинаций мутаций

Стартуем с аавв.
Наилучший генотип А_В_

aabb aaBb aabb aabb aabb aabb Aabb
Aabb aabb aabb aabb aaBb aabb aabb

Бесполое размножение

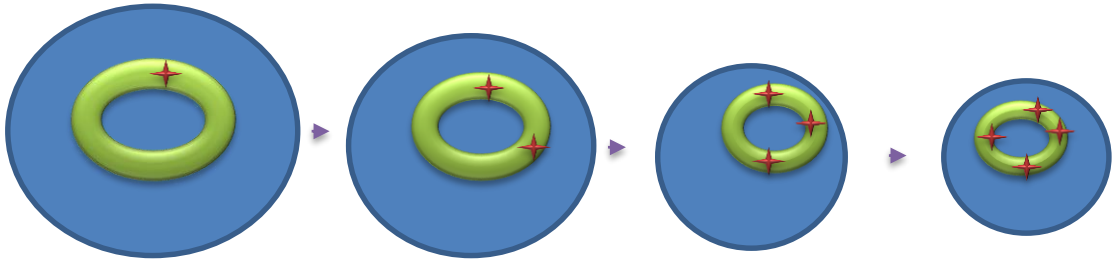
Половое размножение



Преимущества рекомбинации

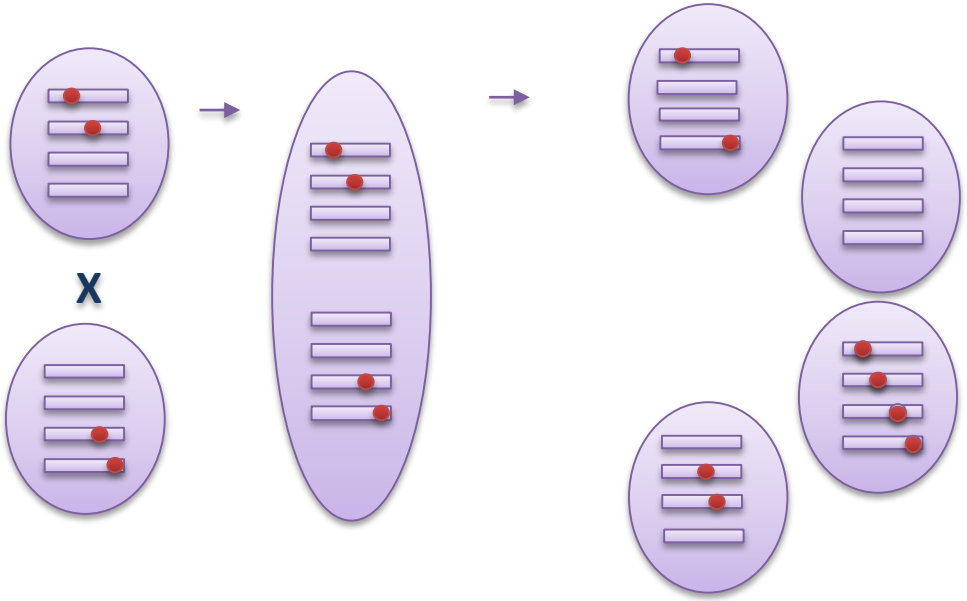
3. Преодоление храповика Мёллера

Бесполое размножение



Мутационная деградация клона

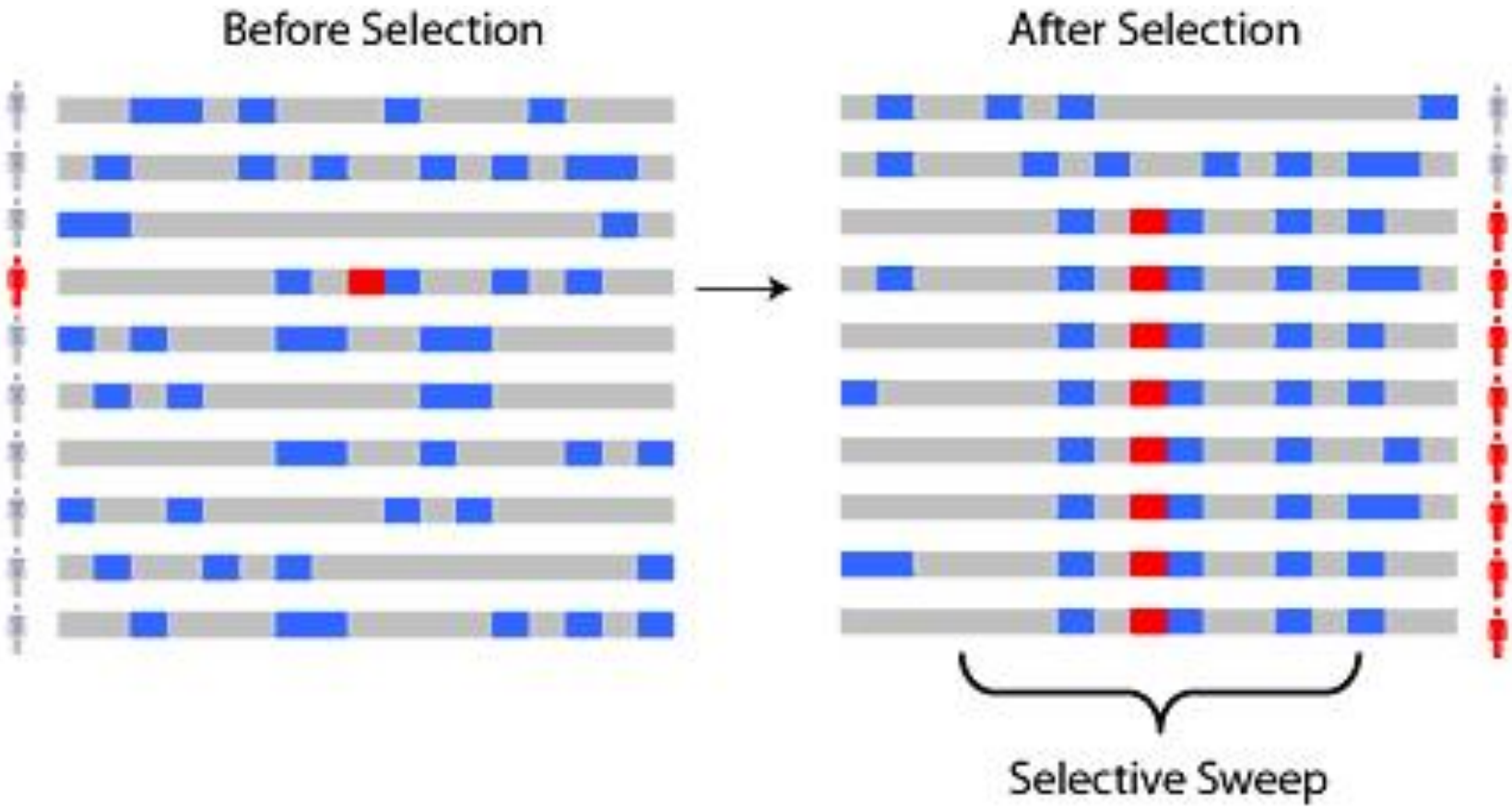
Половое размножение



Свободная от мутаций гамета

Перегруженная мутациями гамета

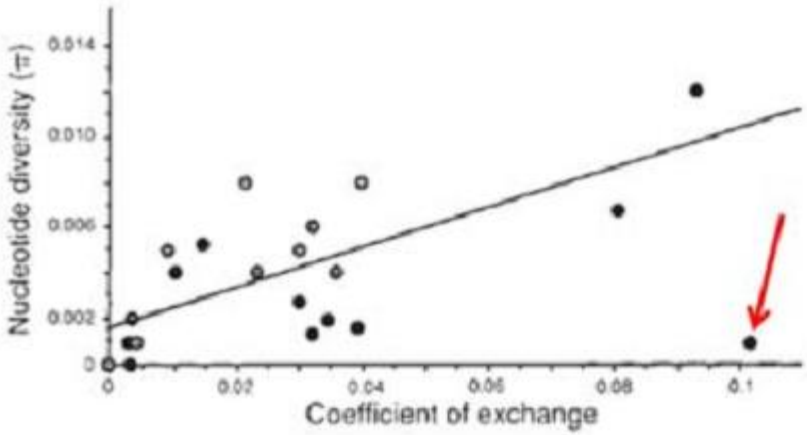
4. Преодоление эффекта попутного транспорта (Hitchhiking effect, Selective sweep)



большое π

маленькое π

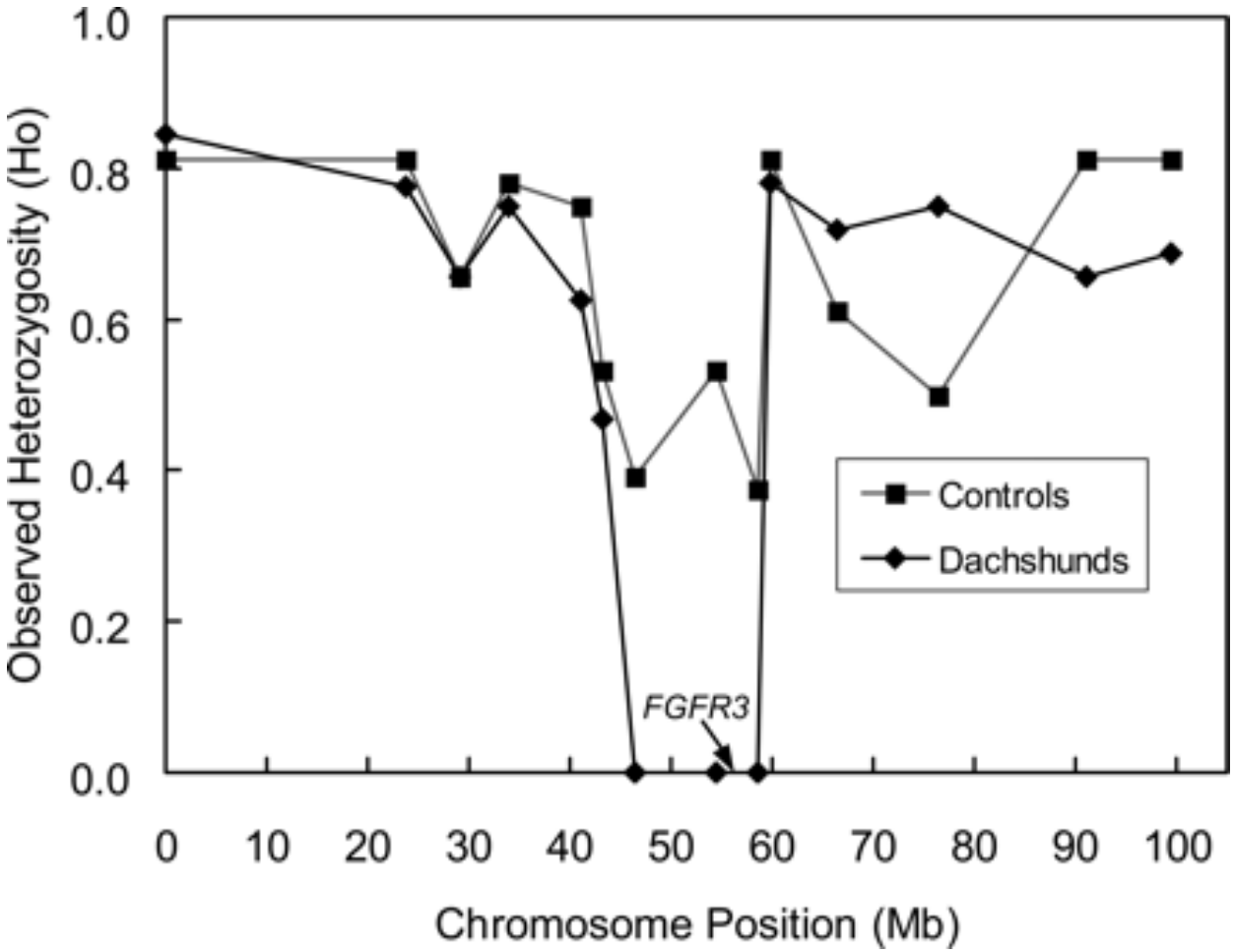
Следы отбора
Selective sweep



Бедное разнообразие в небольшом районе с высокой рекомбинацией
- Недавняя селективная зачистка

Низкая гетерозиготность в небольшом районе с высокой рекомбинацией

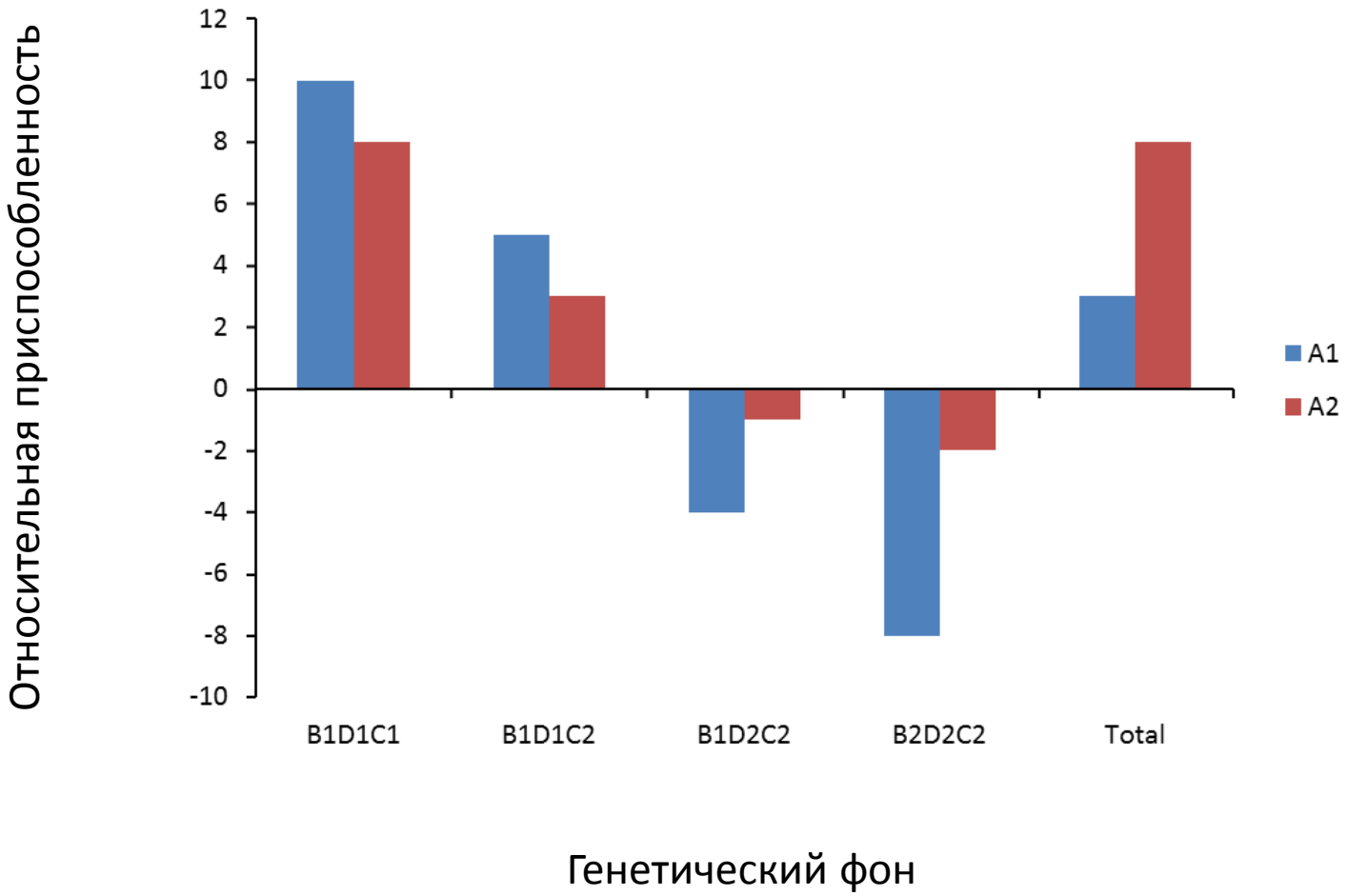
- Недавняя селективная зачистка



Преимущества рекомбинации
4. Преодоление эффекта попутного транспорта (Hitchhiking effect)

- За счет тесного сцепления с адаптивными аллелями в популяциях распространяются нейтральные или даже вредные аллели.
- Происходит обеднение ген. изменчивости
- Рекомбинация препятствует этому

5. Преимущества рекомбинации
Проверка межгенной кооперации



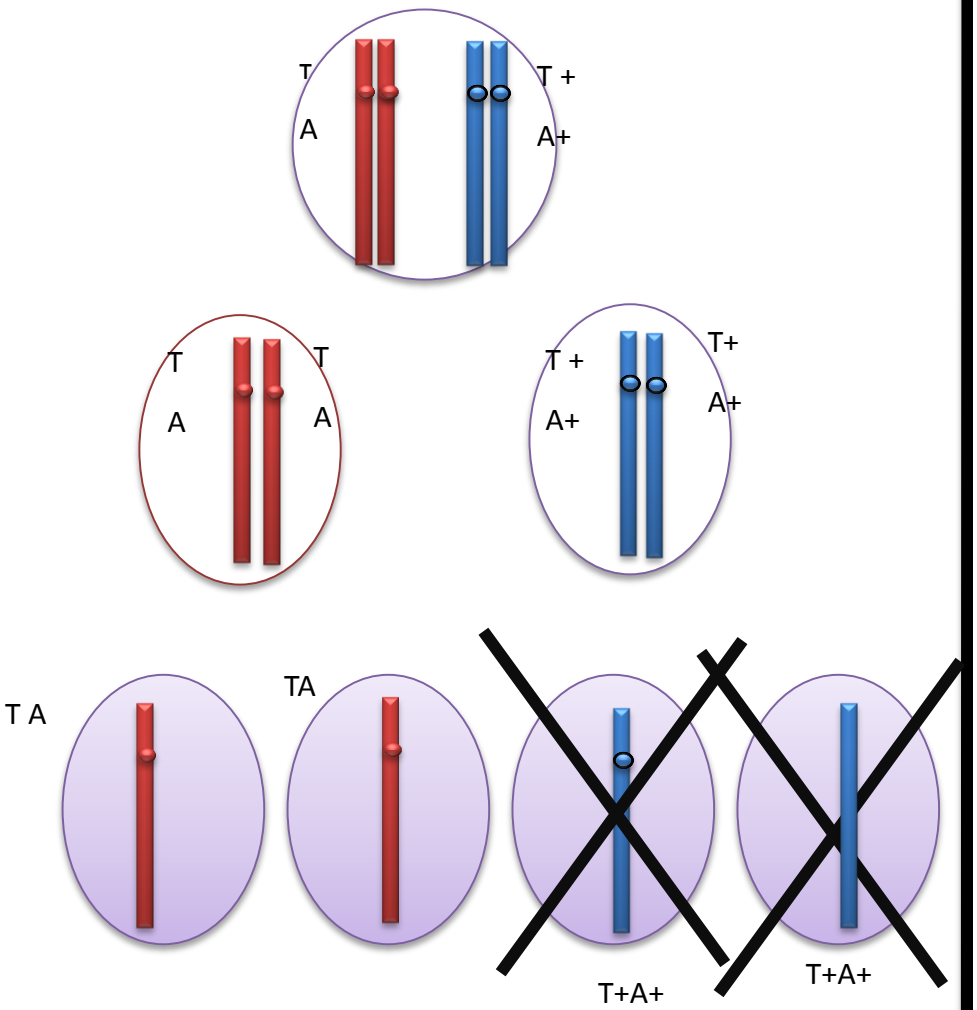
Межгенная кооперация

- Рекомбинация способствует отбору оптимальных «компанейских» аллелей,

Преимущества рекомбинации
6. Подавление драйверов

- Мейотический драйв - (или нарушение расщепления) преимущественная передача потомству одного из аллелей гетерозиготного родителя.

Преимущества рекомбинации
Подавление драйверов

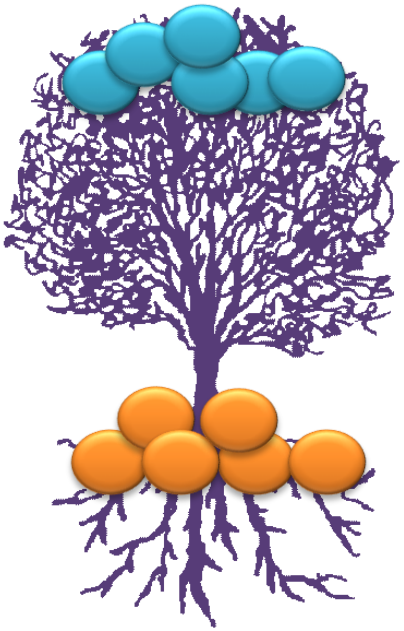


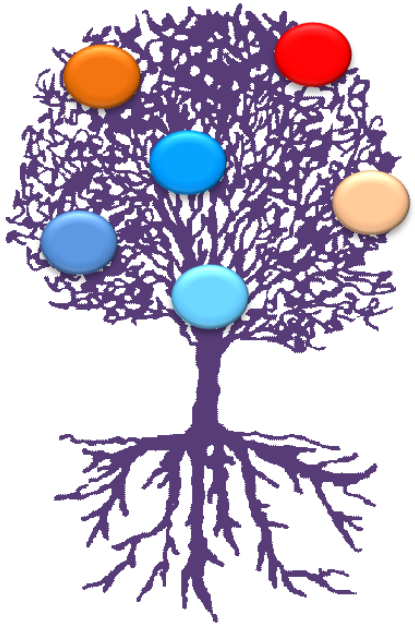
Драйв без рекомбинации –
незаконная выгода

Преимущества рекомбинации
7. Снижение конкуренции сибсов

Бесполое размножение

Половое размножение

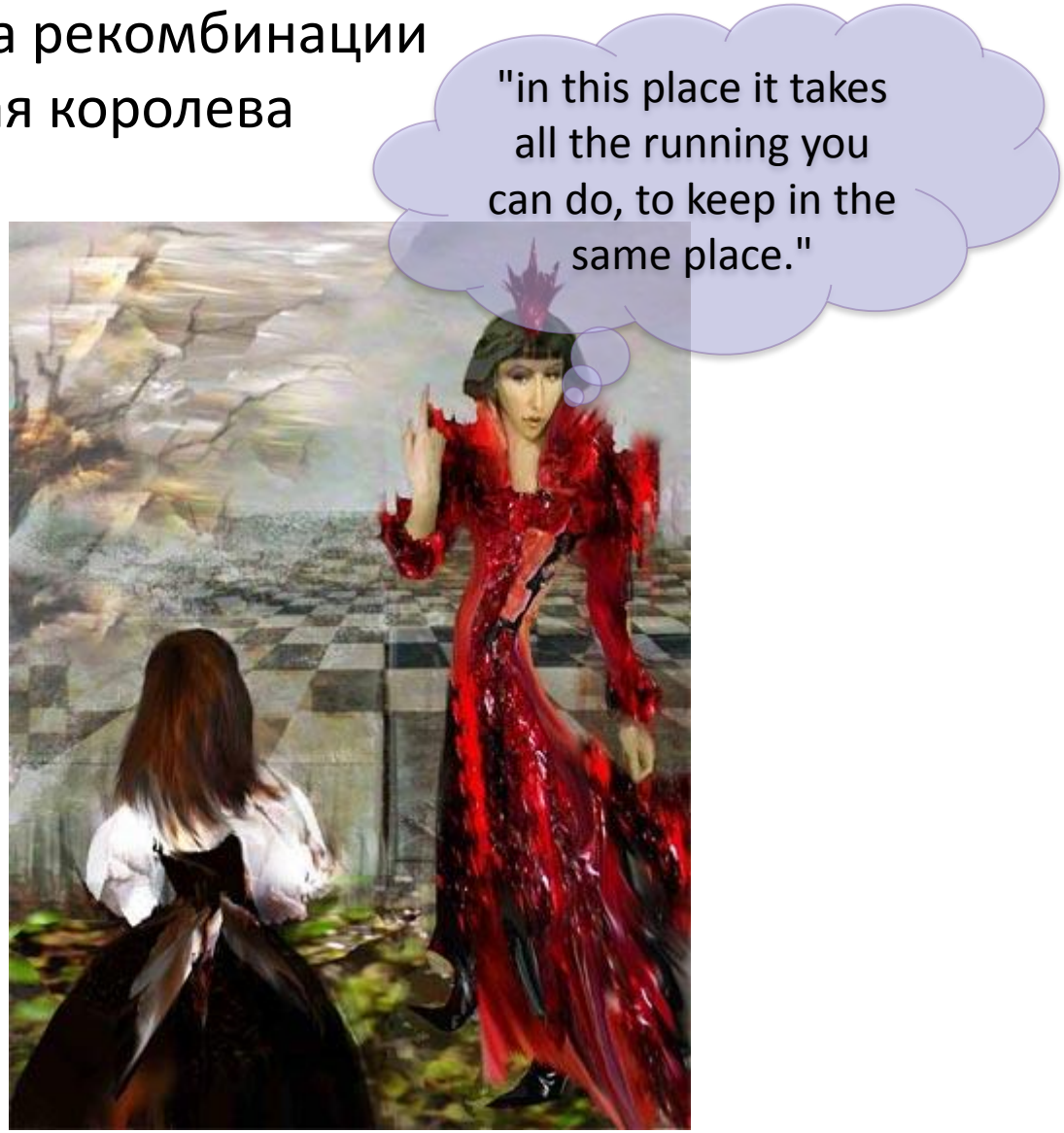




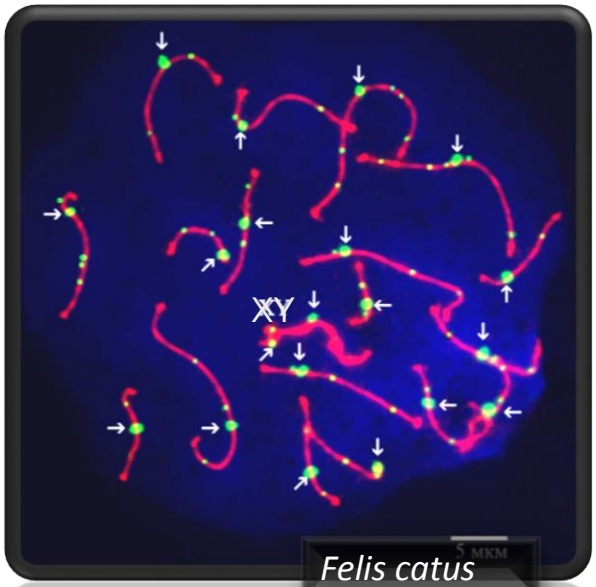
Преимущества рекомбинации
7. Снижение конкуренции сибсов

- Благодаря рекомбинации в каждой семье есть разнообразие
  - и тем самым снижается конкуренция сибсов
  - и тем самым повышается приспособленности их родителей

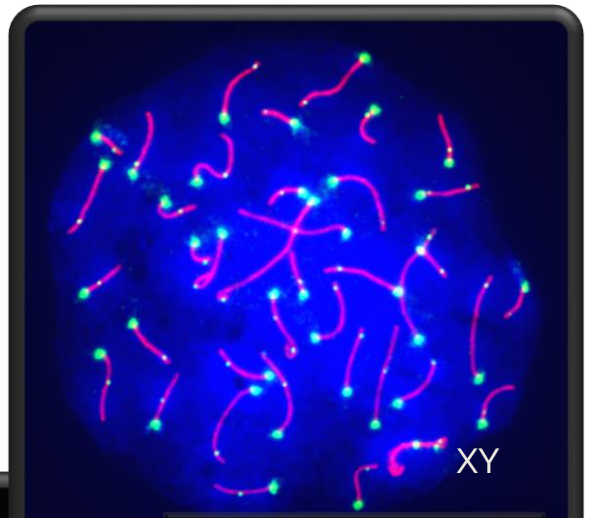
Преимущества рекомбинации
8. Красная королева



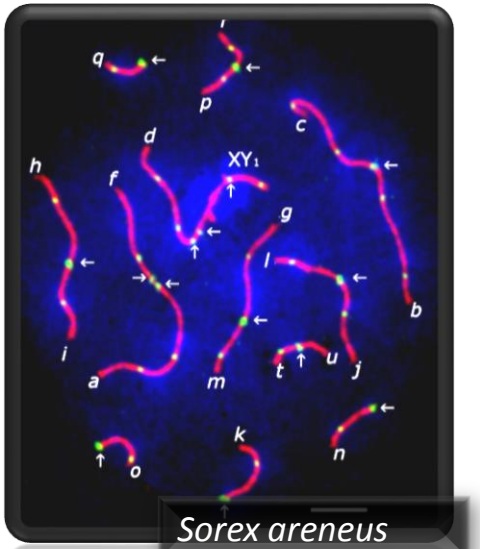
Частота и распределение рекомбинации у млекопитающих



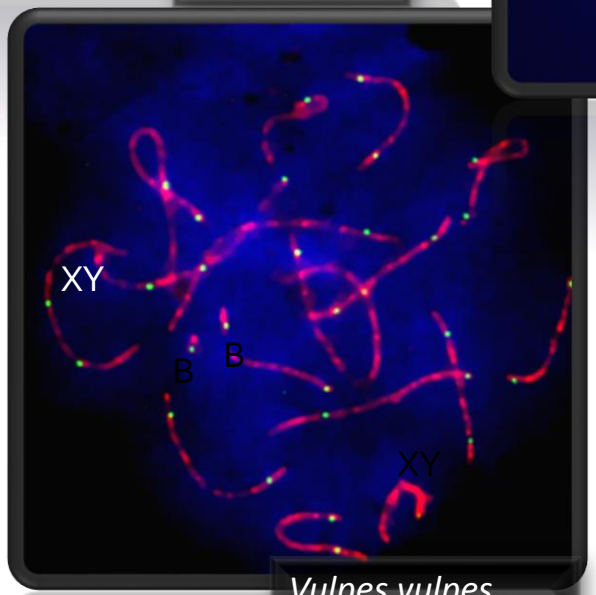
Felis catus



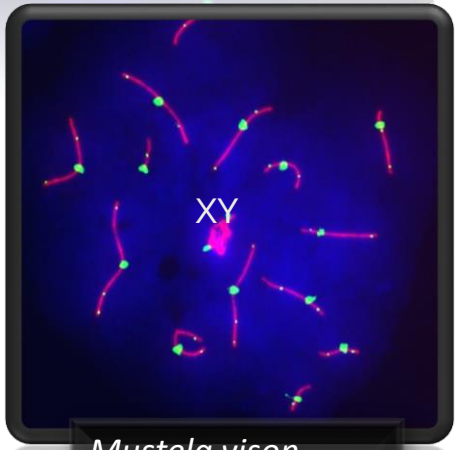
Canis familiaris



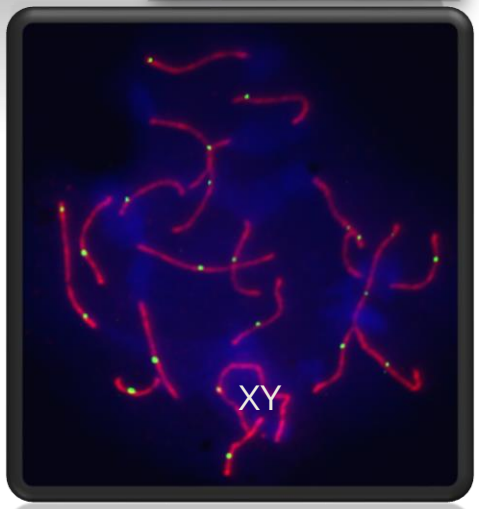
Sorex areneus



Vulpes vulpes

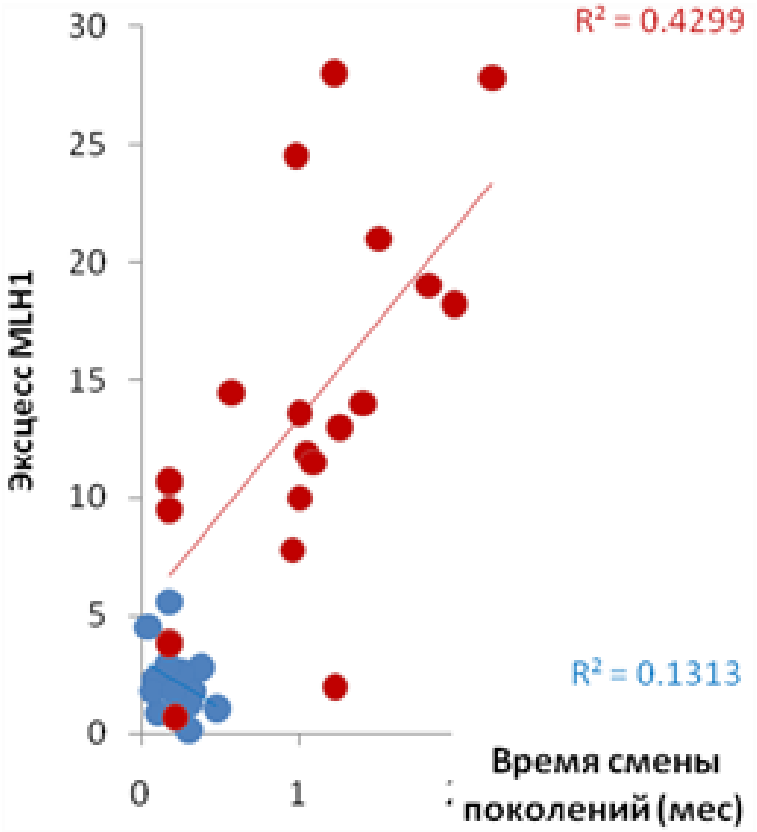


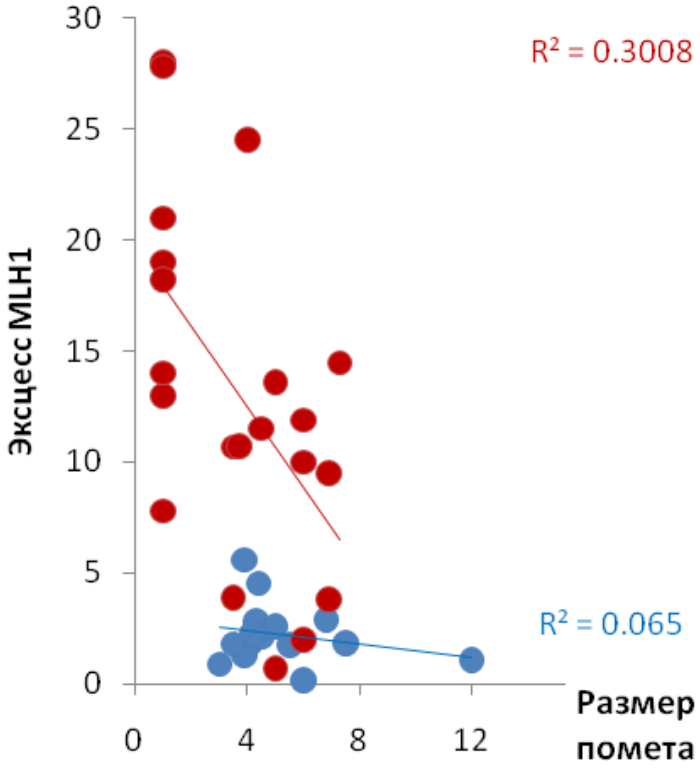
Mustela vison



Mus musculus

Частота рекомбинации у млекопитающих
Тестирование гипотез
Красная королева или Конкуренция сибсов





Зависимость эксцесса числа сайтов MLH1 над гаплоидным числом хромосом от времени смены поколений (в месяцах, логарифмическая шкала) и размера помета.

Синим представлены данные по полевкам, красным – по остальным млекопитающим.

Преимущества рекомбинации
8. Красная королева

- В непредсказуемом мире успехом пользуются неожиданные свойства (новые комбинации аллелей)
- В гонке вооружений с паразитами новые и редкие комбинации аллелей получают преимущество

Недостатки и преимущества секса и рекомбинации

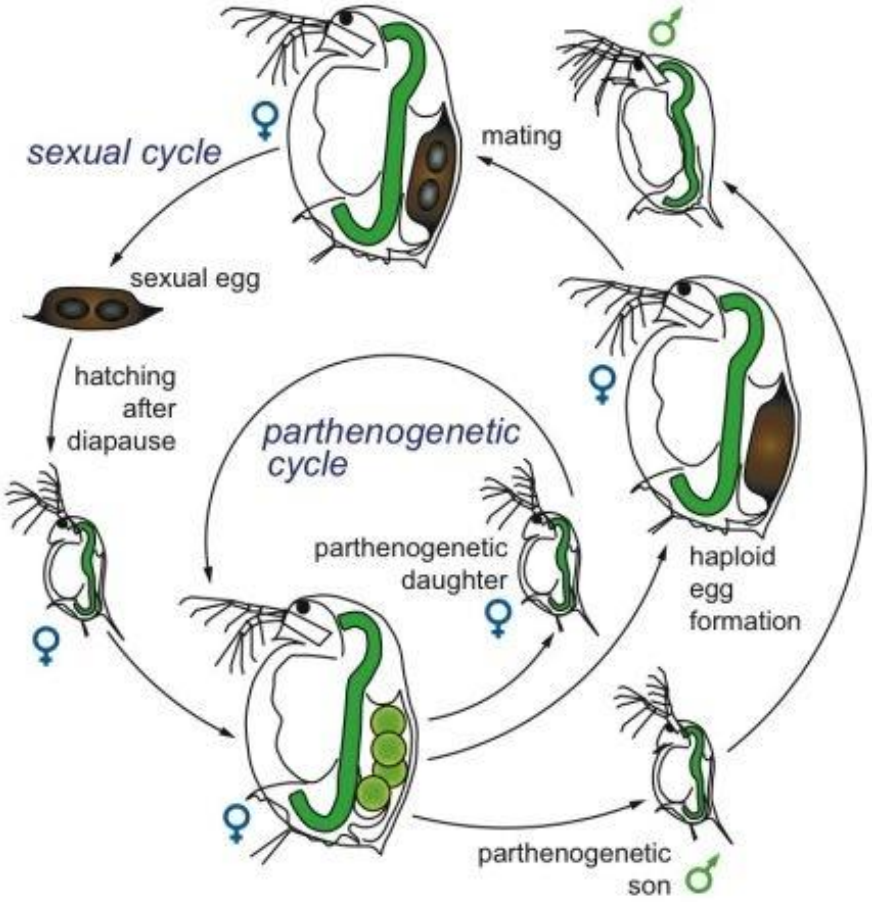
- Недостатки
  - Низкая эффективность размножения
  - Трата времени на поиск партнера и ухаживание
  - Трата ресурсов на бесполезный пол (догадайтесь какой)
  - Передача только половины генов потомству
  - Опасный и расточительный способ производства гамет
  - Разрушение опробованных аллельных ассоциаций

- Преимущества
  - Репарация повреждений ДНК
  - Объединение полезных мутаций
  - Устранение вредных мутаций (борьба с храповиком Меллера)
  - Совершенствование межгенных коопераций
  - Образование новых генных ассоциаций для
    - Снижения конкуренции сибсов
    - Жизни в непредсказуемом мире (Красная королева)
  - Борьба с дрейверами

Как жить без секса (рекомбинации) и быть счастливым

- Очень стабильная среда
- Очень маленькие геномы (<5000 генов)
- Очень быстрая смена поколений
- Очень многочисленные популяции
- Очень интенсивный отбор

Переключения типов размножения



Бесполое - когда хорошо

Половое – когда плохо

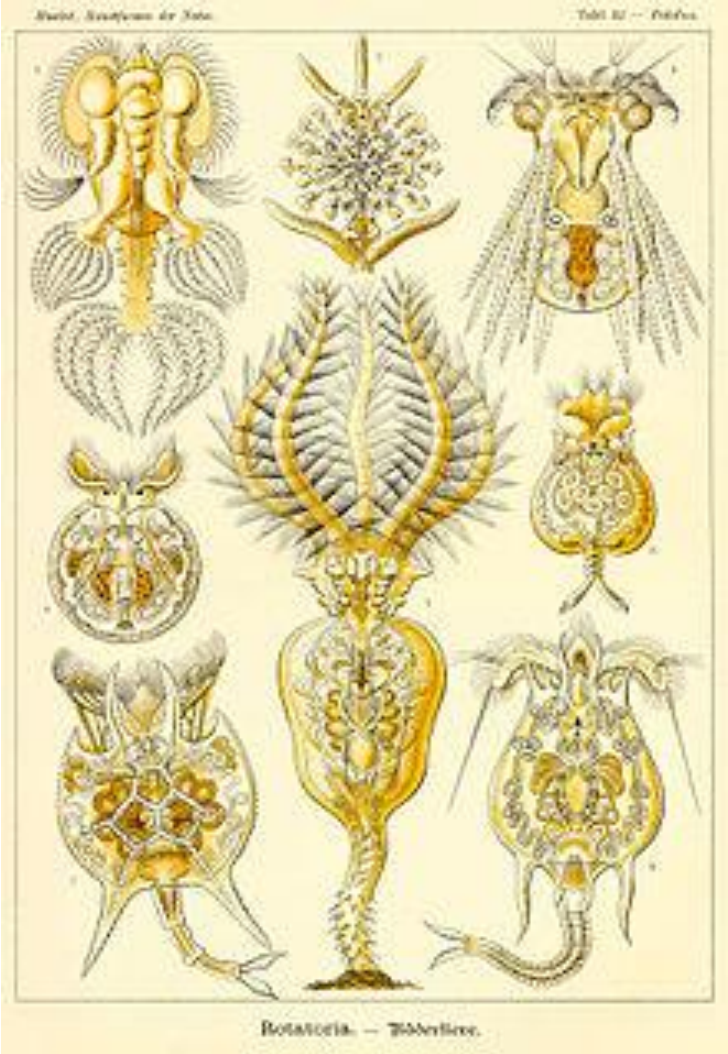
Вторичная бесполость

C. inornatus
(пол)

C. tigris
(пол)

Cnemidophorus neomexicanus
(беспол)

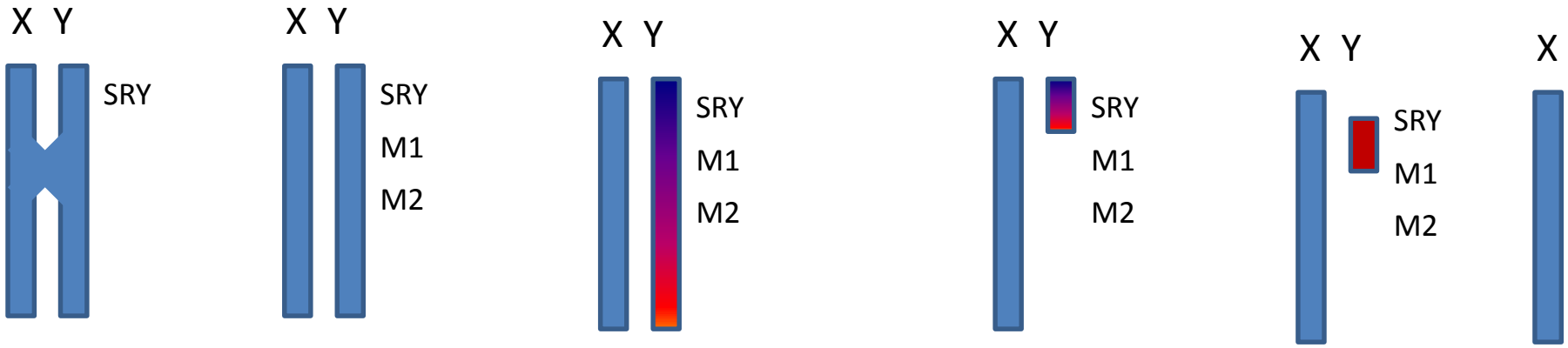
Древние асексуальные скандалы (коловратки)



- Многочисленность популяций
- Постоянно нарастающая гетерозиготность (гетерозис)
- Ангидробиоз – (смерть паразитам) двунитевые разрывы – репарация-митотическая конверсия

Sex chromosome in absence of sex or cronica de una muerte anunciada

Y -birth



Male switch occurs

Rec free

Male genes occur

X-Y Rec epigenetically suppressed

X-Y Rec genetically suppressed (inversions)

X-Y divergence

X-Y Rec genetically suppressed (inversions)

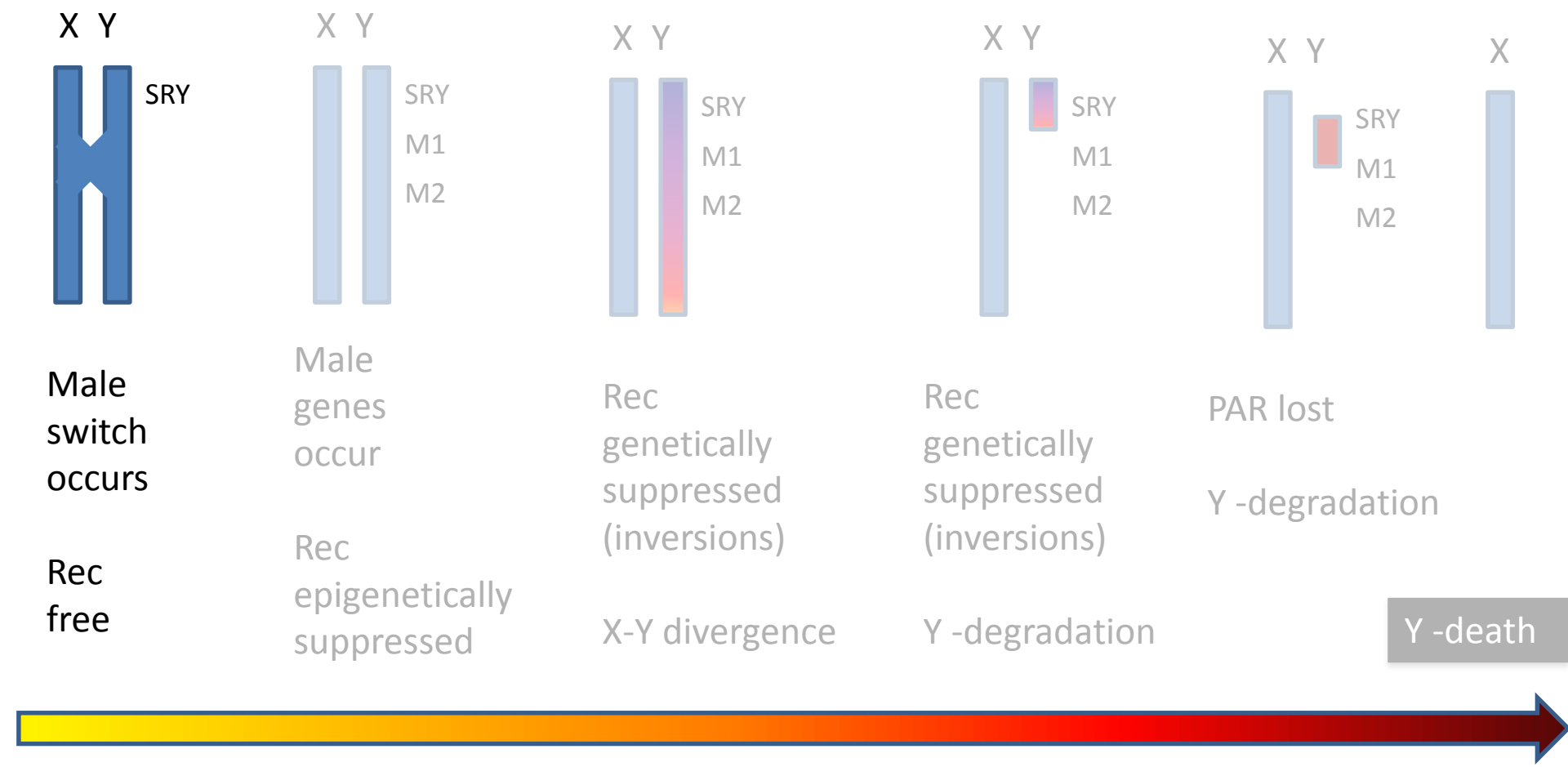
Y -degradation

PAR lost

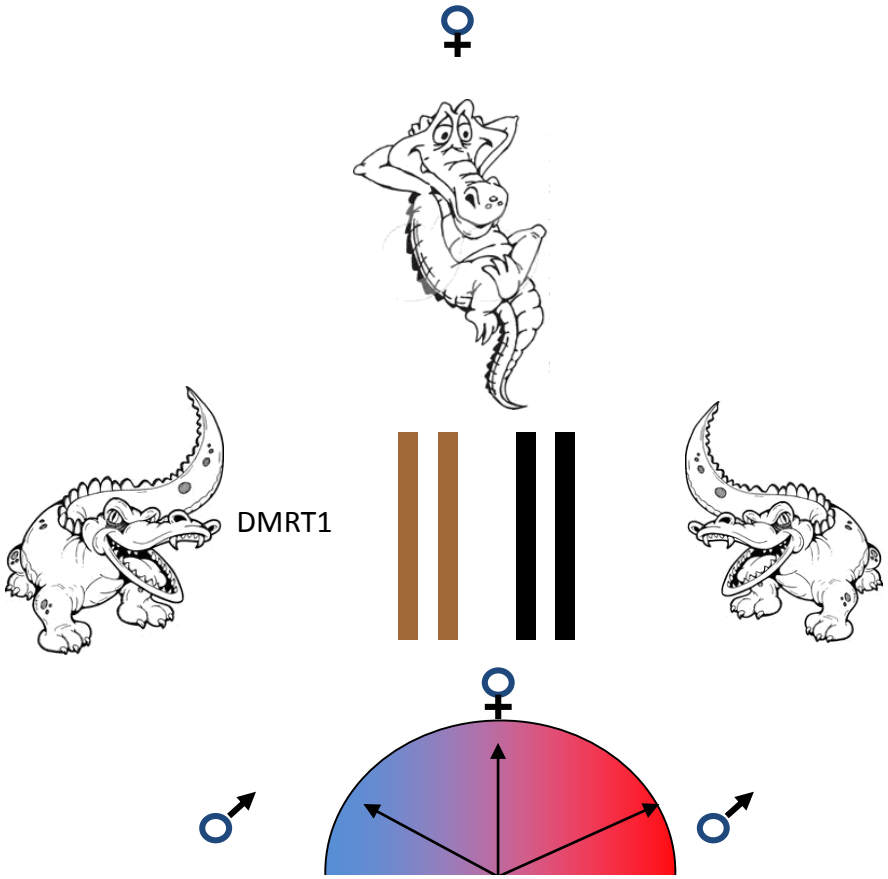
Y -degradation

Y -death

Y -birth

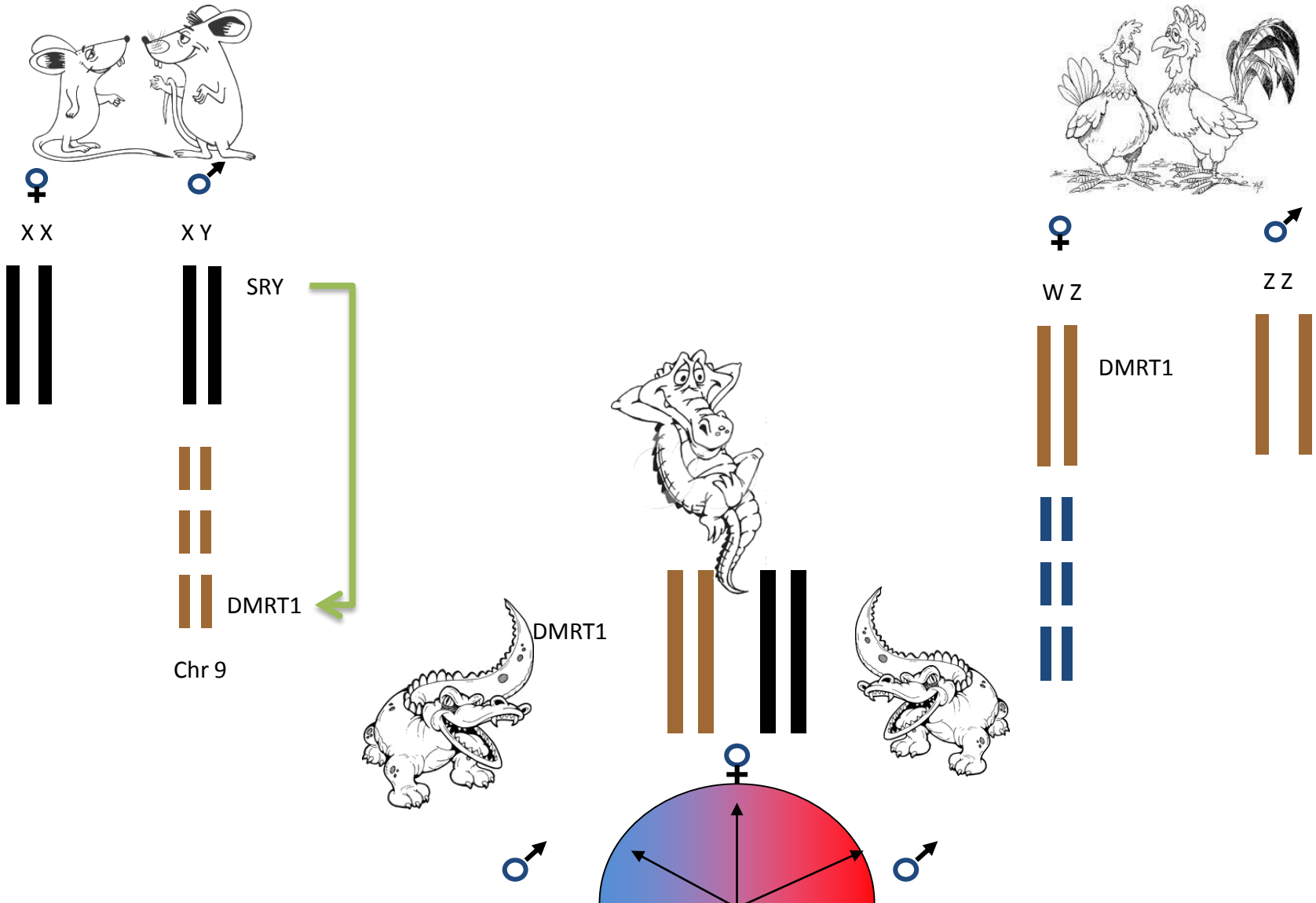

X Y
SRY
Male switch occurs
Rec free
X Y
SRY
M1
M2
Male genes occur
Rec epigenetically suppressed
X Y
SRY
M1
M2
Rec genetically suppressed (inversions)
X-Y divergence
X Y
SRY
M1
M2
Rec genetically suppressed (inversions)
Y -degradation
X Y
SRY
M1
M2
X
PAR lost
Y -degradation
Y -death

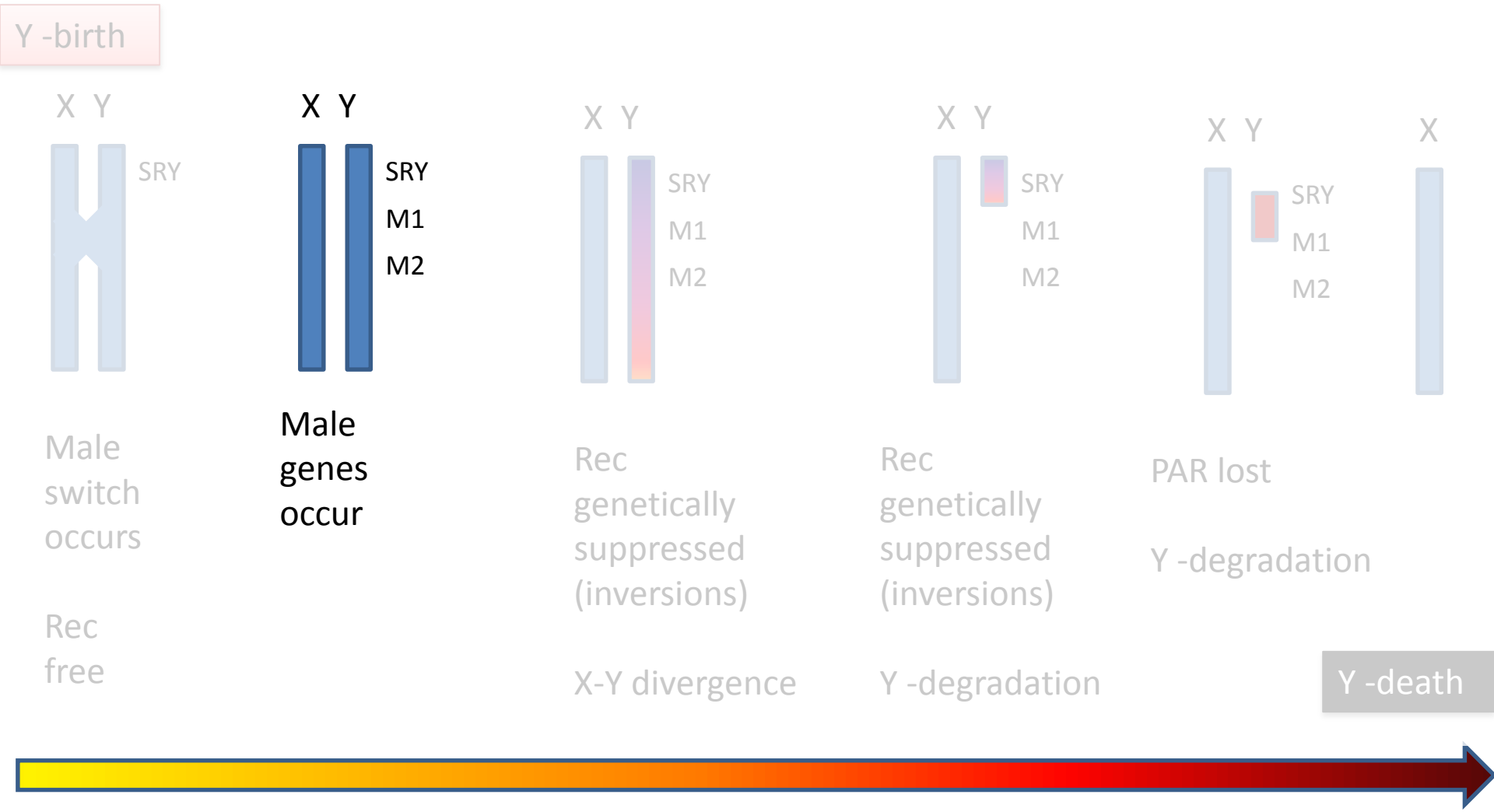
Life before the sex chromosomes



Doublesex and mab-3 related transcription factor 1

Rise of the sex chromosomes




Y -birth
X Y
SRY
Male switch occurs
Rec free
X Y
SRY
M1
M2
Male genes occur
X Y
SRY
M1
M2
Rec genetically suppressed (inversions)
X-Y divergence
X Y
SRY
M1
M2
Rec genetically suppressed (inversions)
Y -degradation
X Y
SRY
M1
M2
PAR lost
Y -degradation
X
Y -death

Y

=

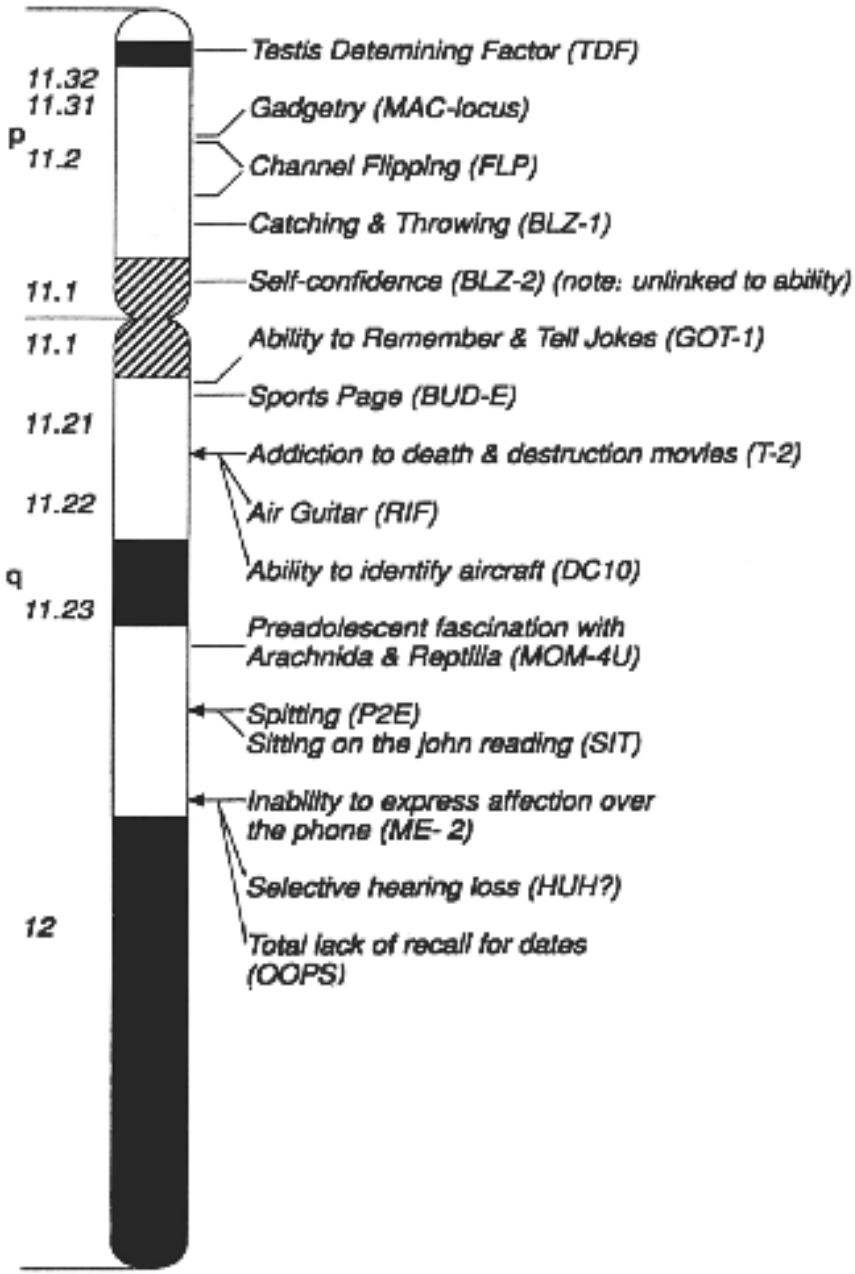
Autosome

+

SRY

+

sexually antagonistic alleles



Y

=

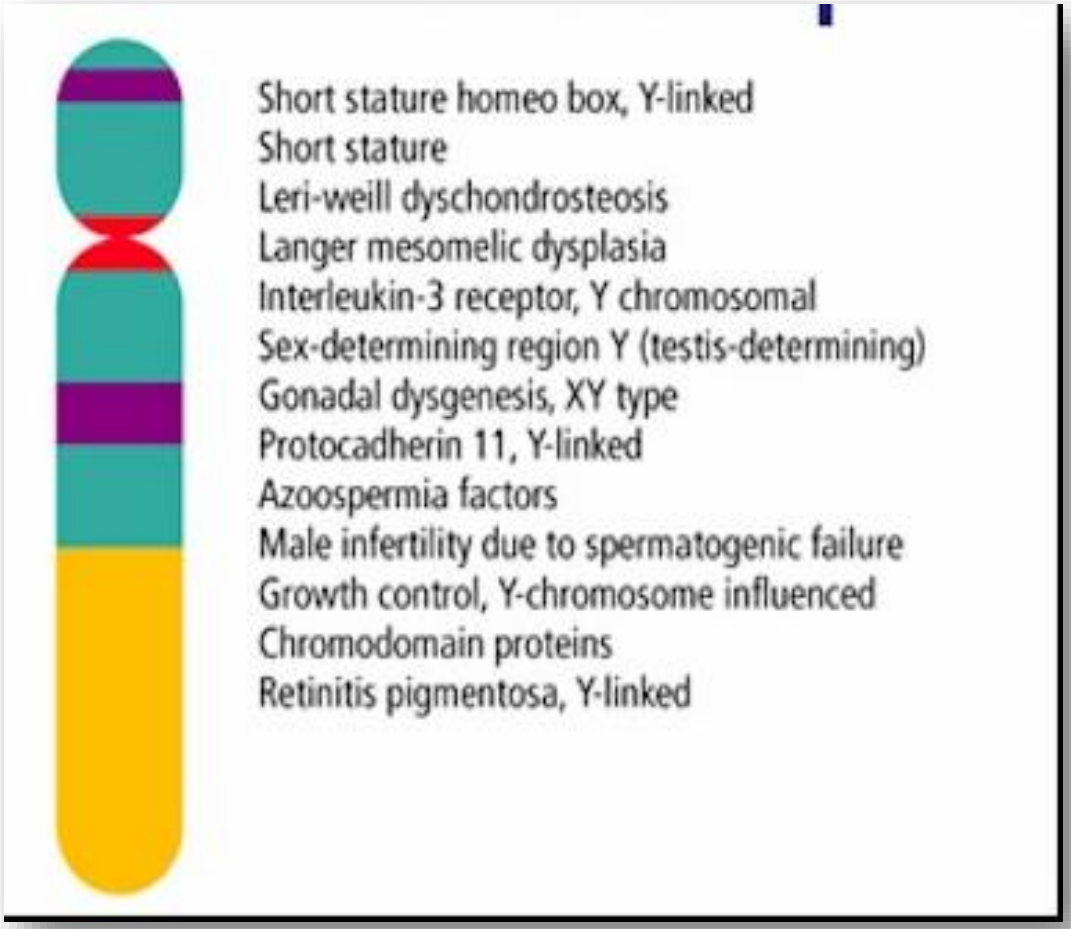
Autosome

+

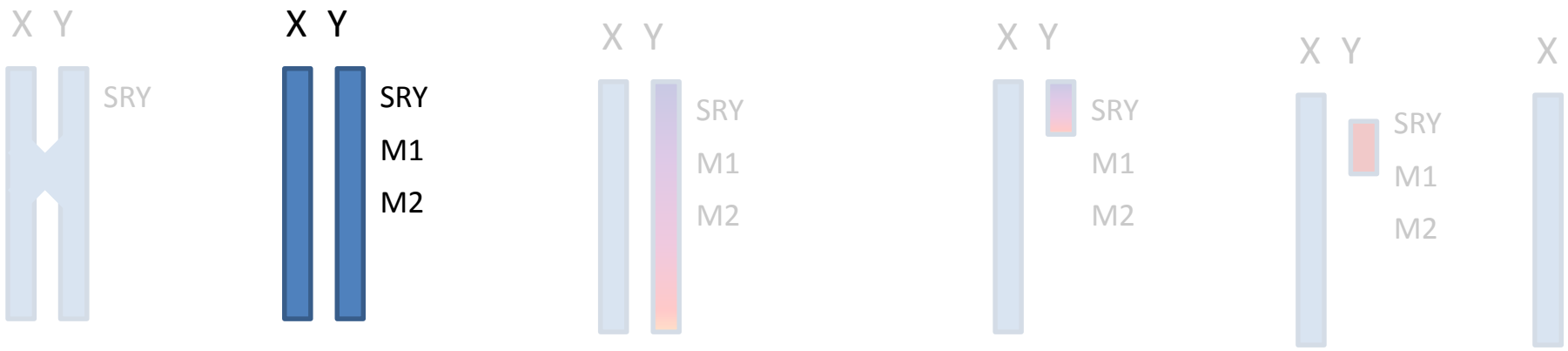
SRY

+

sexually antagonistic alleles



Y -birth



Male switch occurs

Rec free

Male genes occur

X-Y Rec epigenetically suppressed

Rec genetically suppressed (inversions)

X-Y divegence

Rec genetically suppressed (inversions)

Y -degradation

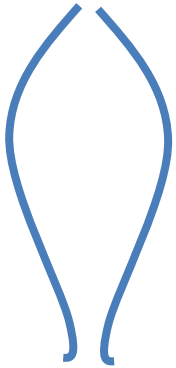
PAR lost

Y -degradation

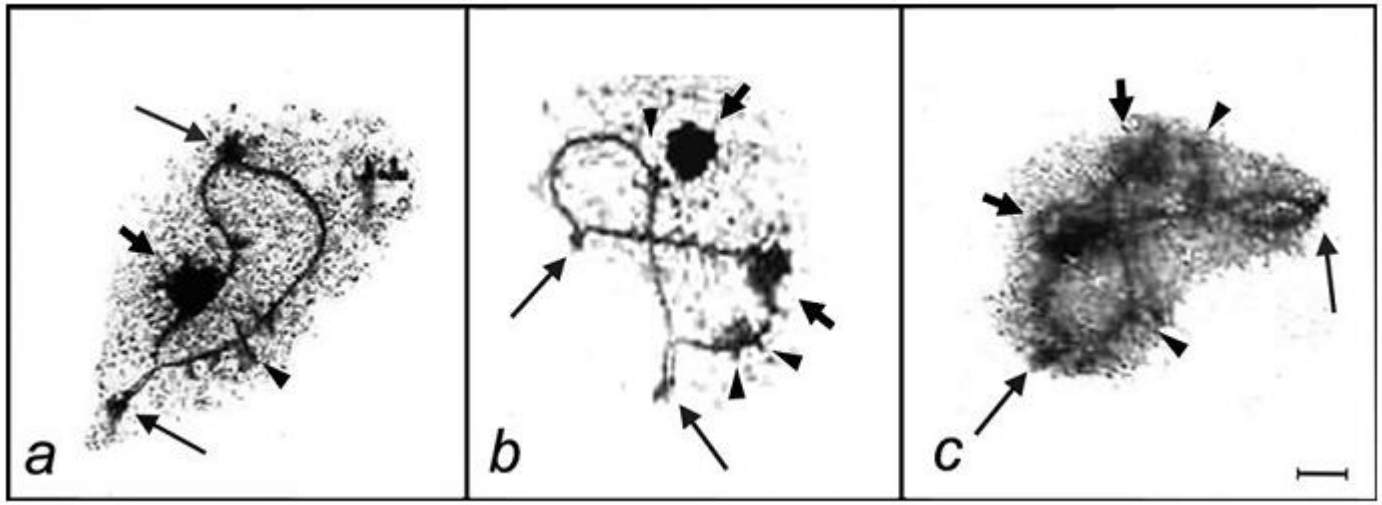
Y -death

Case of *Ellobius talpinus*
XX males with rec epigenetically suppressed

XX
females



XX
males



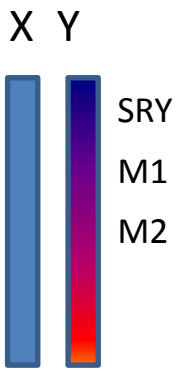
Y -birth

Male switch occurs

Rec free

Male genes occur

Rec epigenetically suppressed



X-Y Rec genetically suppressed (inversions)

X-Y divergence

Rec genetically suppressed (inversions)

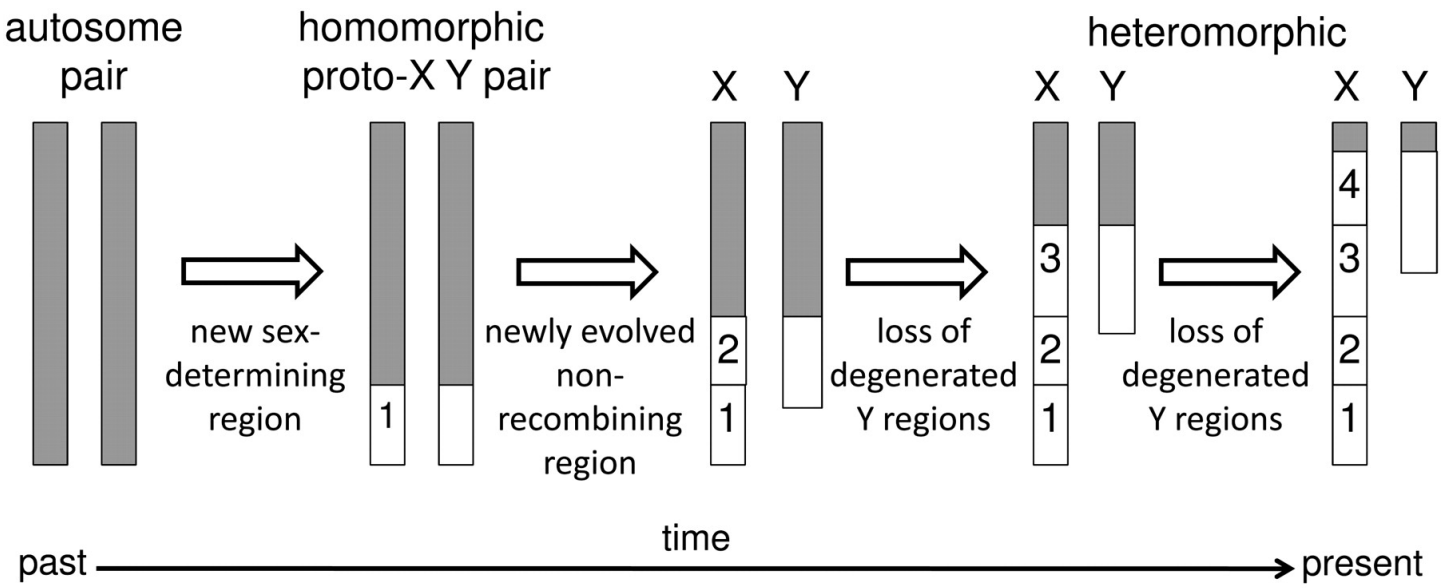
Y -degradation

PAR lost

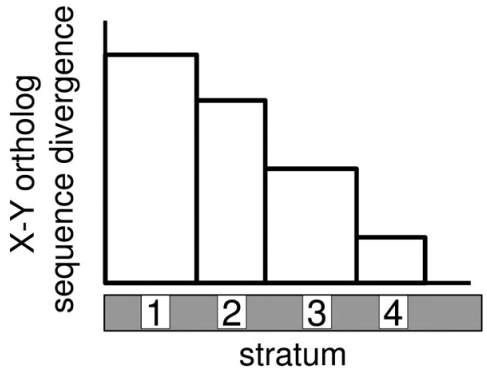
Y -degradation

Y -death

Sequence of X-Y-digergence



Charlesworth &Mank (2010). The Birds and the Bees and the Flowers and the Trees: Lessons from Genetic Mapping of Sex Determination in Plants and Animals. *Genetics* ***186(1): 9-31.***



Y -birth

Male switch occurs

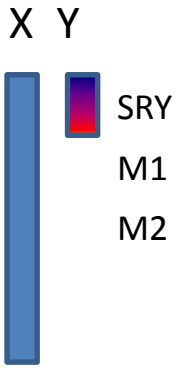
Rec free

Male genes occur

Rec epigenetically suppressed

Rec genetically suppressed (inversions)

X-Y divergence



Rec genetically suppressed (inversions)

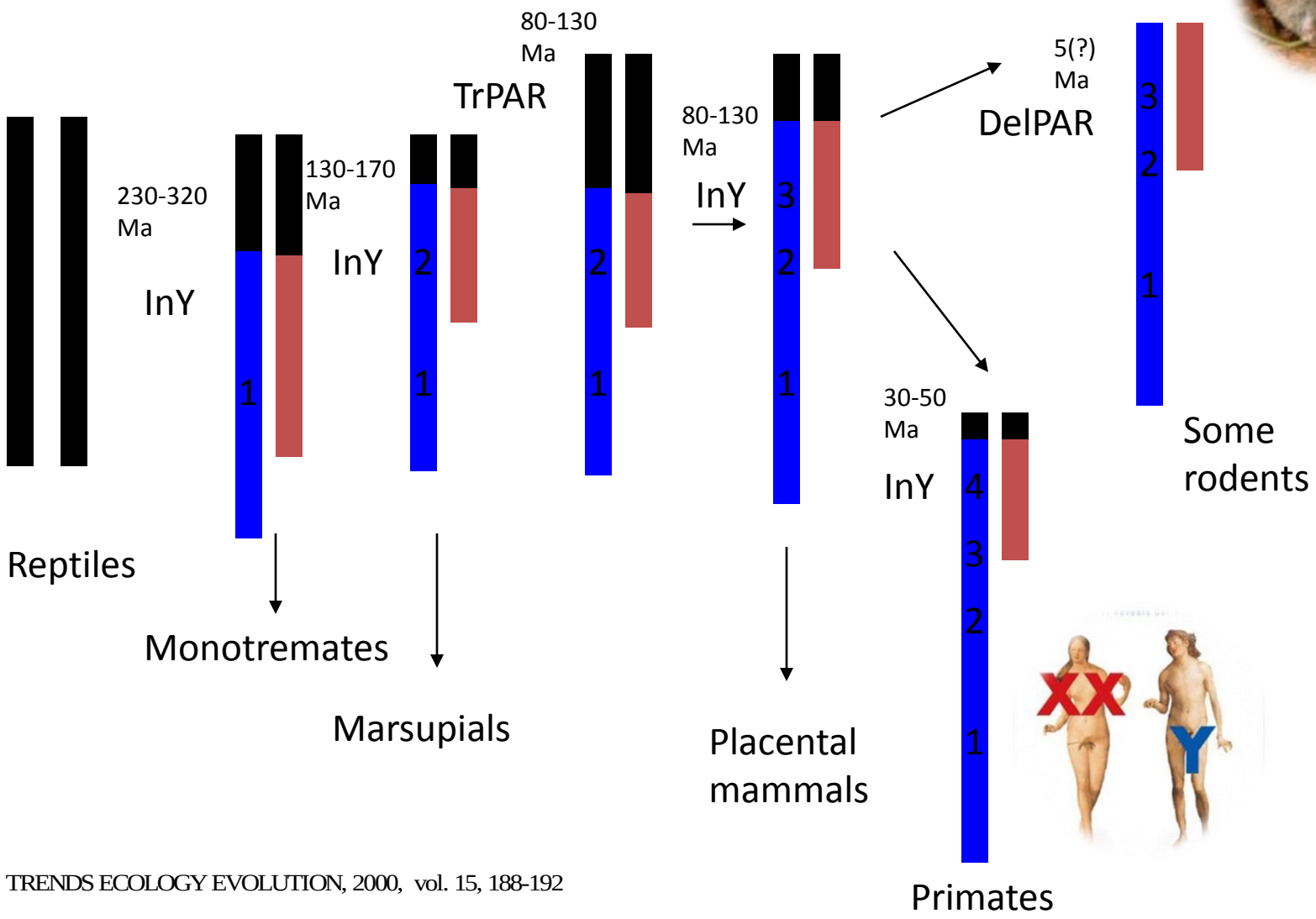
Y -degradation

PAR lost

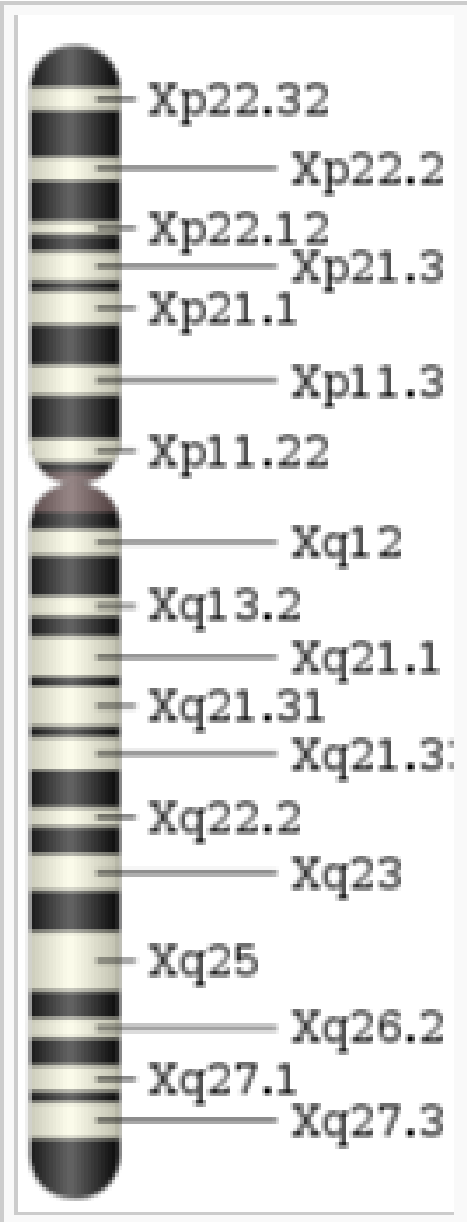
Y -degradation

Y -death

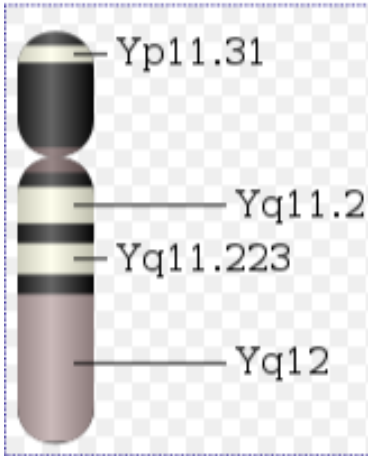
Sequence of X-Y divergence



Ellegren, H.. TRENDS ECOLOGY EVOLUTION, 2000, vol. 15, 188-192



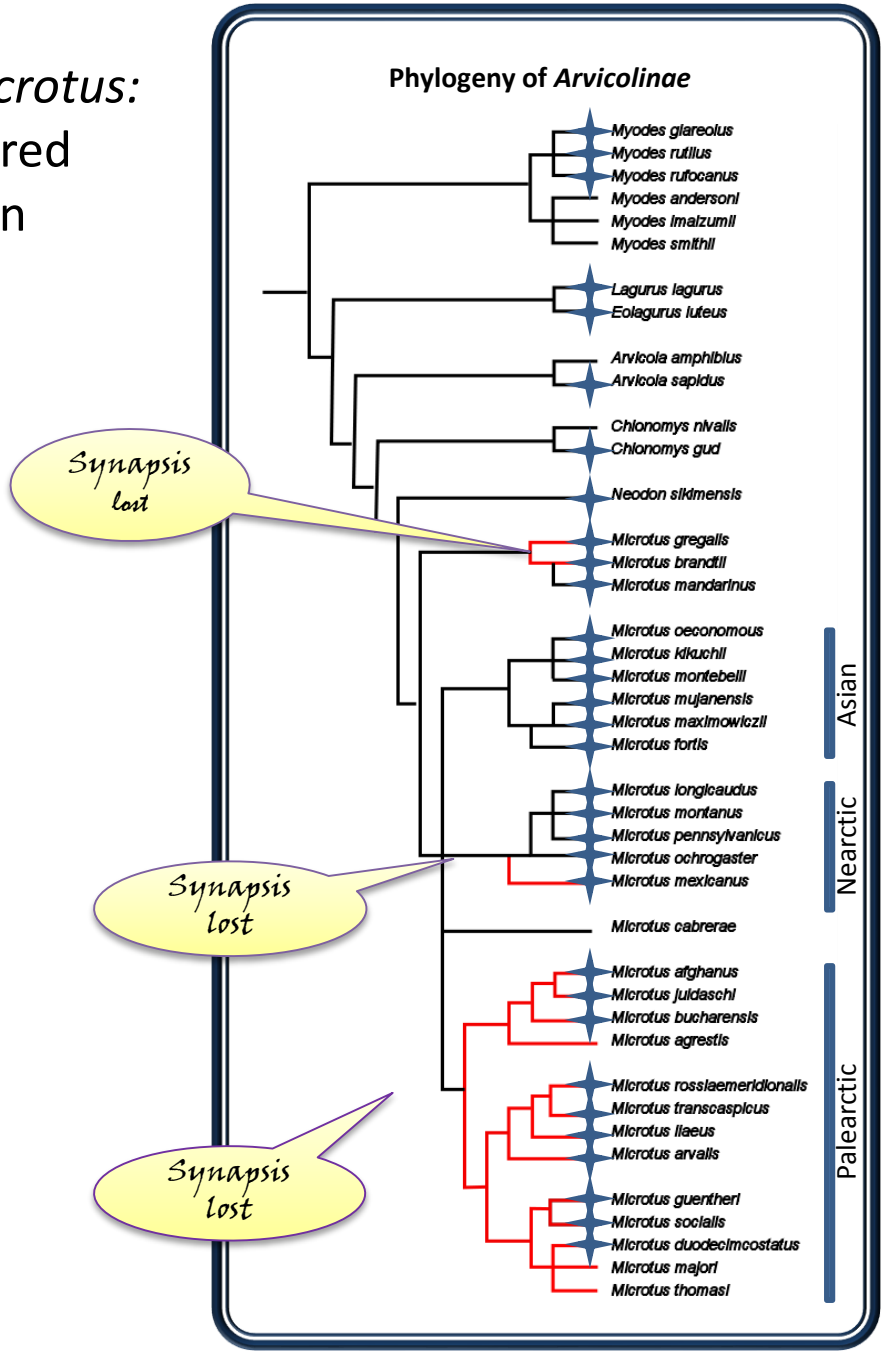
153 million bp
2000 genes

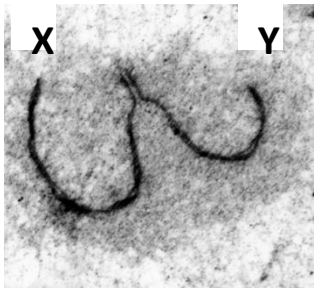


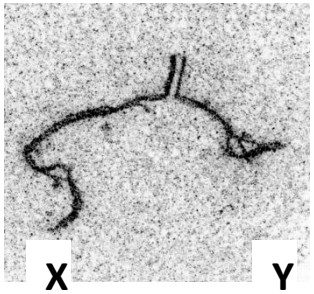
58 million bp
86 genes
23 protein coding

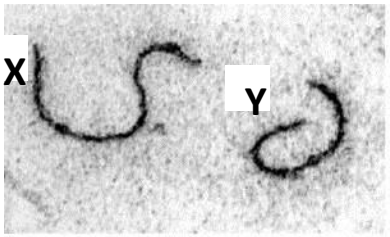
Human X and Y

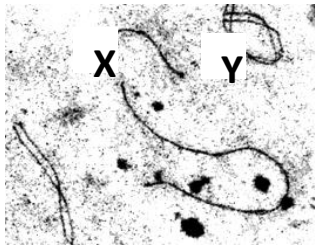
Case of *Microtus:*
Well prepared degradation











Y -birth

Male switch occurs

Rec free

Male genes occur

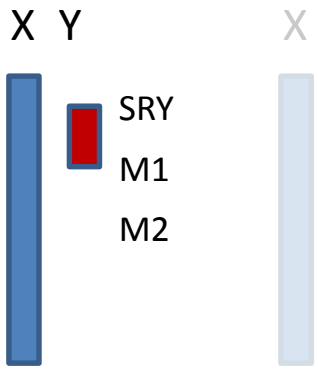
Rec epigenetically suppressed

Rec genetically suppressed (inversions)

X-Y divegence

Rec genetically suppressed (inversions)

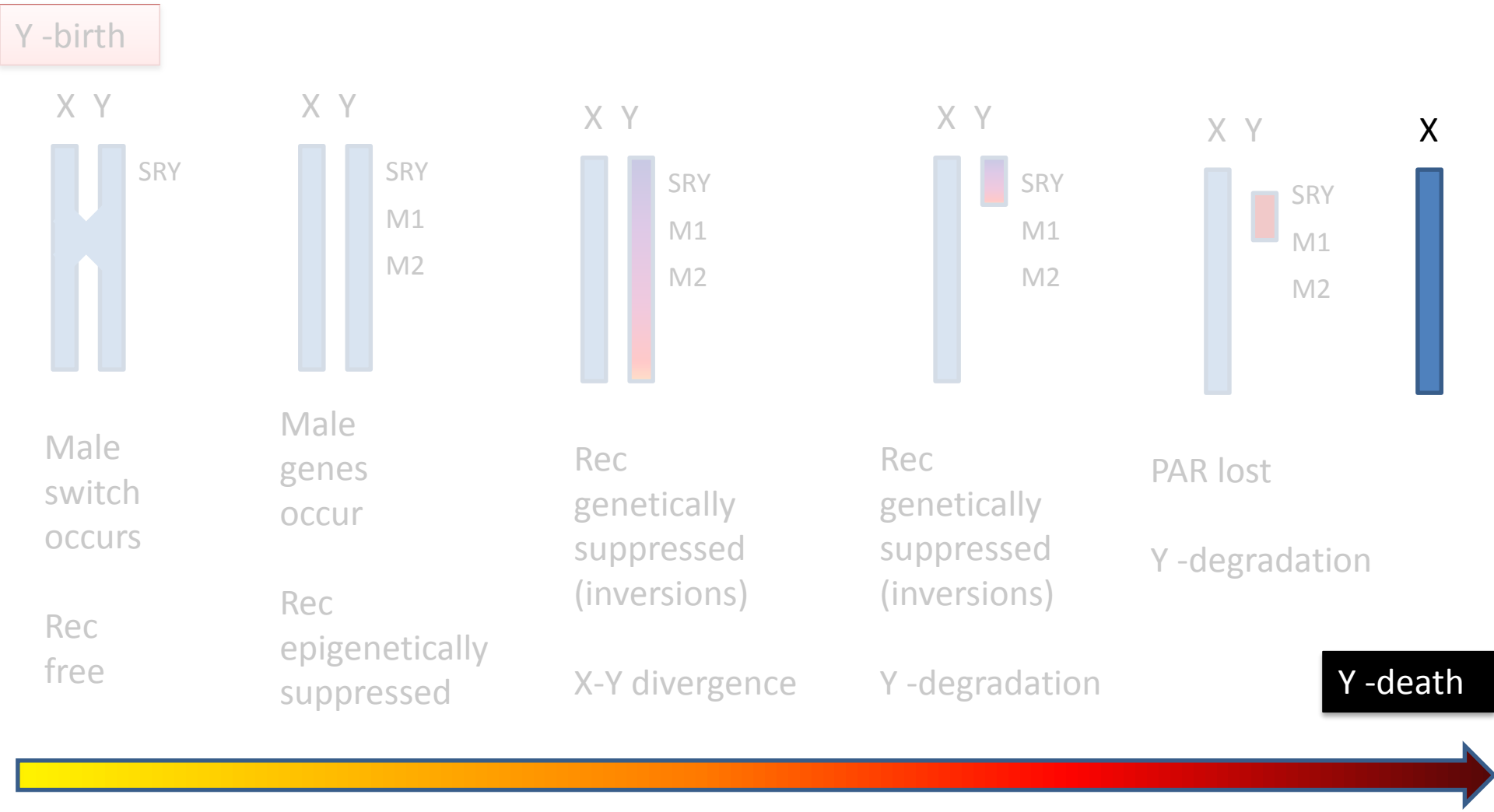
Y -degradation

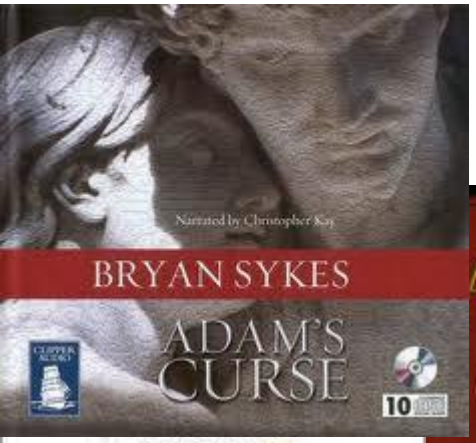


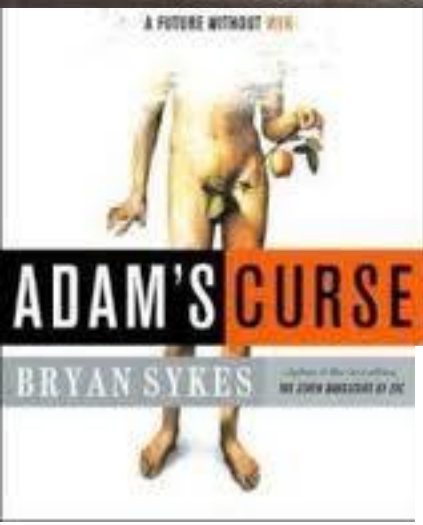
PAR lost

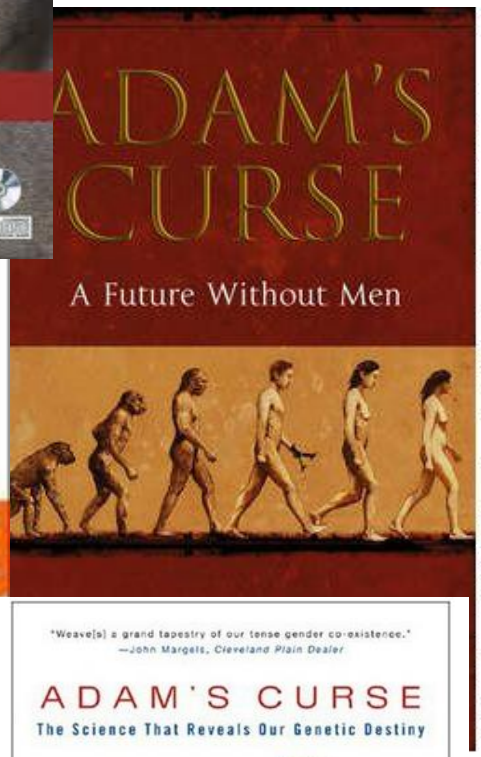
Y -degradation

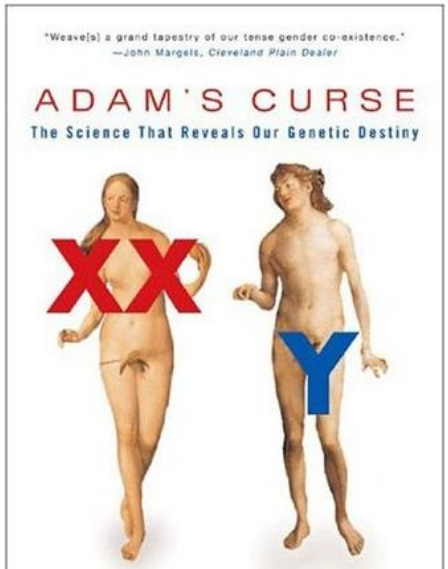
Y -death


Y -birth
X Y
SRY
Male switch occurs
Rec free
X Y
SRY
M1
M2
Male genes occur
Rec epigenetically suppressed
X Y
SRY
M1
M2
Rec genetically suppressed (inversions)
X-Y divergence
X Y
SRY
M1
M2
Rec genetically suppressed (inversions)
Y -degradation
X Y
SRY
M1
M2
PAR lost
Y -degradation
X
Y -death









Statement

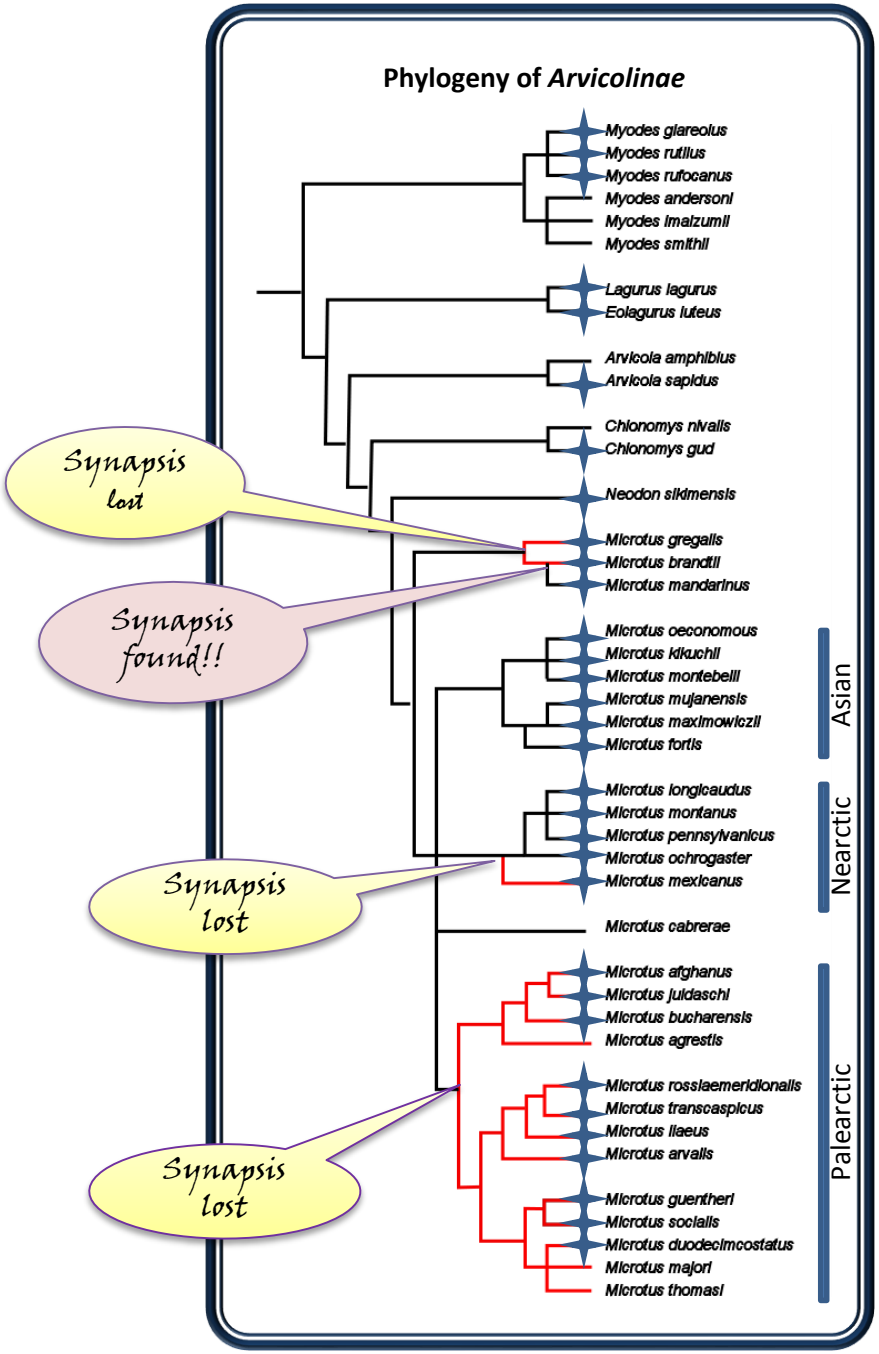
With the declining sperm count and the continual atrophy of the Y chromosome, within 5000 generations (approximately 125000 years) the male of the human species will become extinct.

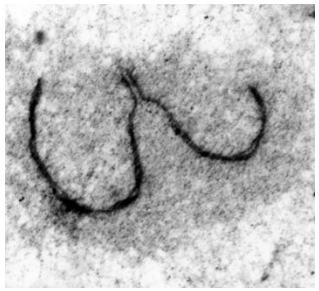
Solution 1

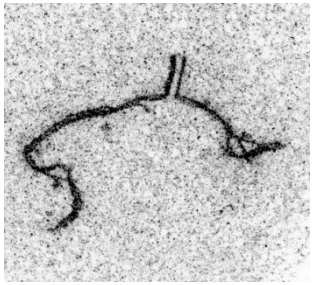
Unisex reproduction by females: female eggs fertilized by using in vitro fertilization methods.

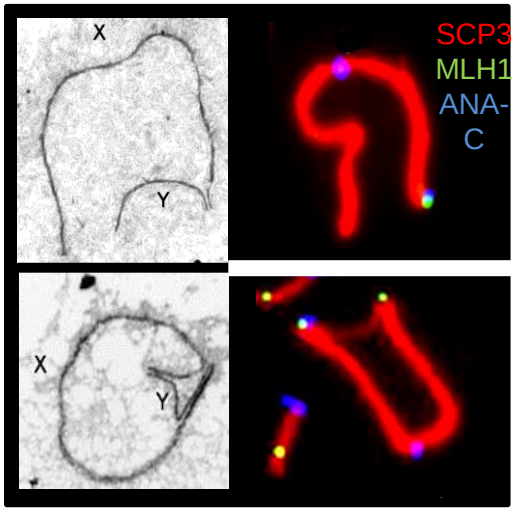
Solution 2

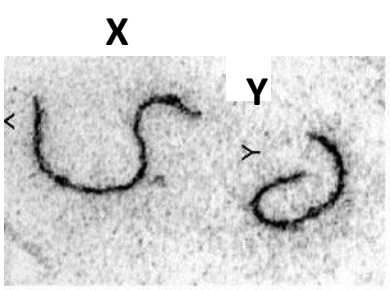
Moving the SRY and associated genes responsible for maleness and male fertility to another chromosome

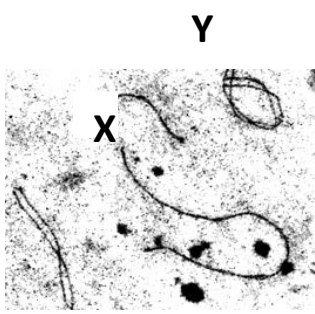

Phylogeny of *Arvicolinae*
Myodes glareolus
Myodes rutilus
Myodes rufocanus
Myodes andersoni
Myodes imaizumii
Myodes smithii
Lagurus lagurus
Eolagurus luteus
Arvicola amphibius
Arvicola sapidus
Chionomys nivalis
Chionomys gud
Neodon sikimensis
Microtus gregalis
Microtus brandtii
Microtus mandarinus
Microtus oeconomous
Microtus kikuchii
Microtus montebelli
Microtus mujanensis
Microtus maximowiczii
Microtus fortis
Microtus longicaudus
Microtus montanus
Microtus pennsylvanicus
Microtus ochrogaster
Microtus mexicanus
Microtus cabrerae
Microtus afghanus
Microtus juldaschi
Microtus bucharensis
Microtus agrestis
Microtus rossiaemeridionalis
Microtus transcaspicus
Microtus liaeus
Microtus arvalis
Microtus guentheri
Microtus socialis
Microtus duodecimcostatus
Microtus majori
Microtus thomasi
Asian
Nearctic
Palearctic
Synapsis lost
Synapsis found!!
Synapsis lost
Synapsis lost






X
Y
SCP3
MLH1
ANA-C
X
Y


X
Y


Y
X

Литература

Генетическая рекомбинация в свете эволюции

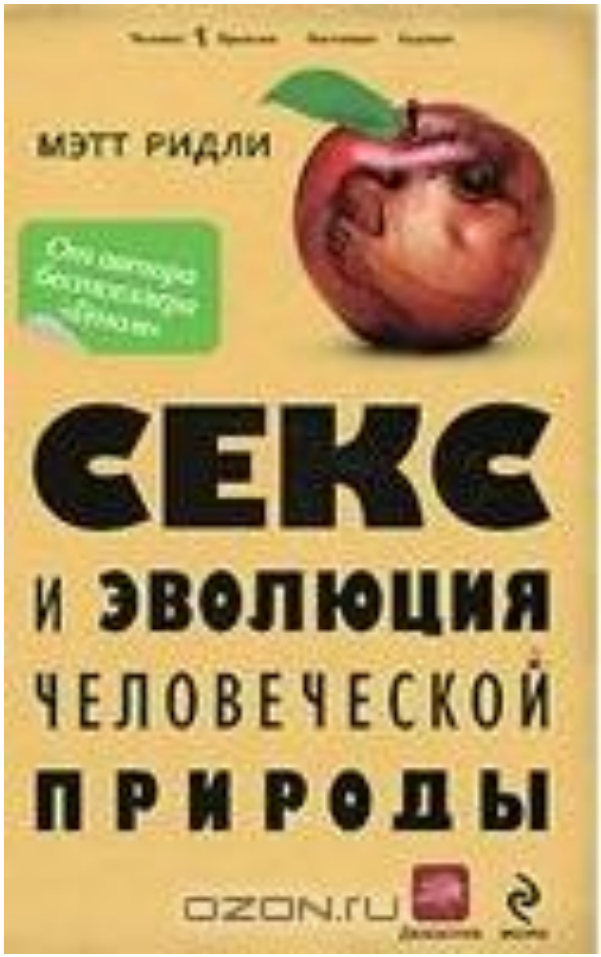
Ничто в биологии не имеет смысла, кроме как в свете эволюции.
Федосий Добжанский

П.М.Бородин

Рекомбинация — это процесс, который обеспечивает перемешивание генов в ряду поколений. При формировании половых клеток гены, полученные от родителей, «перетасовываются», и в каждую гамету попадает только половина родительских генов. При оплодотворении гены двух родителей случайно комбинируются в зиготе. Сочетание этих двух случайных процессов — тасовки генов в генеративных клетках и встречи гамет — обеспечивает уникальность набора генов каждого организма.

***Павел Михайлович Бородин**, доктор биологических наук, заведующий лабораторией рекомбинационного и сегрегационного анализа Института цитологии и генетики СО РАН, профессор кафедры цитологии и генетики Новосибирского государственного университета. Занимается проблемами эволюционной генетики, генетики мейоза. Лауреат премии импрофессора В.С.Кирпичникова за выдающийся вклад в развитие эволюционной генетики (2004).*

https://sites.google.com/site/darwinupdated/evolucia



http://www.ozon.ru/context/detail/id/6752674/

Взлет и падение Y-хромосомы

П.М.Бородин, Е.А.Башева, Ф.Н.Голенищев

В этой статье мы расскажем, как возникли половые хромосомы млекопитающих, как они эволюционировали, к чему пришли и что их ждет впереди. Особое внимание мы обратим на эволюцию поведения половых хромосом в мейозе у серых полевок. Ее мы исследовали втроем: Ф.Н.Голенищев отлавливал зверей, определял их видовую принадлежность и консультировал нас по всем таксономическим и филогенетическим вопросам; Е.А.Башева готовила и анализировала цитологические препараты; П.М.Бородин придумал план всей работы и написал основной текст статьи.

Павел Михайлович Бородин, *доктор биологических наук, профессор кафедры цитологии и генетики Новосибирского государственного университета, заведующий лабораторией рекомбинационного и сегрегационного анализа Института цитологии и генетики СО РАН. Область интересов — эволюционная генетика. Лауреат диплома Президиума РАН за лучшие работы по популяризации науки 2009 г.*

Екатерина Андреевна Башева, *аспирант той же лаборатории. Область научных интересов — молекулярная биология мейоза, сравнительная цитогенетика млекопитающих. Лауреат Всероссийского открытого конкурса 2008 г. на лучшую научную работу студентов по разделу «Биологические науки».*

Федор Николаевич Голенищев, *кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории териологии Зоологического института РАН. Занимается систематикой и эволюционной морфологией грызунов, проблемами видообразования.*

Полевки как зеркало эволюции млекопитающих

Полевки — это очень молодая и очень успешная группа грызунов. В одном только роде *Microtus* (серые полевки) более 60 видов. Это самый богатый видами род млекопитающих. Видообразование в нем происходило в Голарктике в течение последних 1.5 млн лет.

По происхождению всех серых полевок можно условно разделить на неарктических (американские аборигенные ви-

https://sites.google.com/site/darwinupdated/evolucia