



Heterozja, depresja inbredowa

Modul no. 3: Animal Breeding

Dr hab. Katarzyna Andraszek, profesor uczelni

Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach,
Wydział Agrobioinżynierii i Nauk o Zwierzętach,
Instytut Zootechniki i Rybactwa

Heterozja oznacza wigor mieszańców, zwiększoną żywotność i wybujałość zwierząt i roślin pochodzących z krzyżowania form genetycznie odmiennych.

Heterozja jest zjawiskiem przeciwstawnym do **depresji inbredowej** i objawia się wzrostem płodności, wielkości ciała, tempa wzrostu i innych cech spowodowanych większą heterozygotycznością osobników F1 powstałych z krzyżowania dwóch różnych linii homozygotycznych.

Zjawisko heterozji jest szeroko wykorzystywane w hodowli roślin i zwierząt.



Aby uzyskać osobniki heterozygotyczne oraz efekt heterozji konieczne jest kojarzenie osobników z linii w jak największym stopniu homozygotycznych, które w związku z tym są w dużej mierze narażone na wystąpienie depresji inbredowej.

Efekt heterozji najlepiej uwidoczni się, gdy wcześniej wystąpi depresja inbredowa, ale niezbyt silna, która nie ograniczy w dużej mierze żywotności czy płodności zwierząt.



Osobniki z pokolenia F_1 będą charakteryzowały się wartościami cech (w tym także wydajnością) na poziomie reprezentowanym przez czystą linię rodzicielską o wyższej wartości cechy.

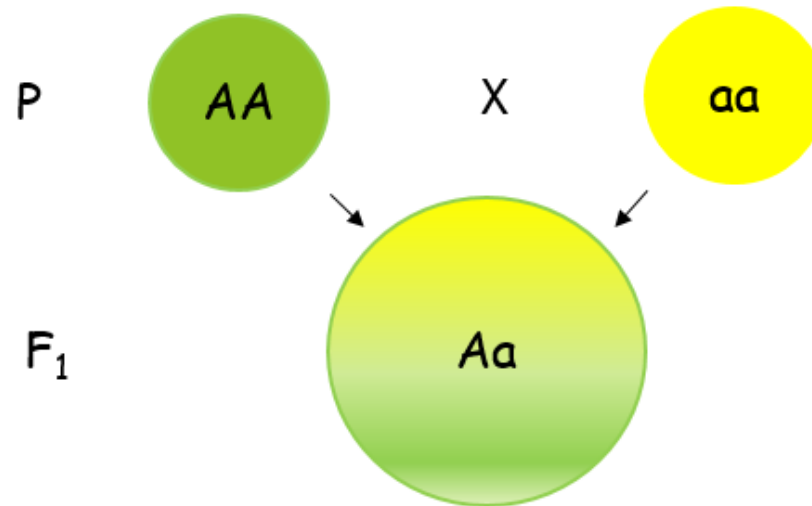
Efekt heterozji wystąpi jedynie w pierwszym pokoleniu będącym efektem krzyżowania wyjściowych linii rodzicielskich.

Kolejne pokolenia F_2 , F_3 , F_n będą charakteryzowały się normalnymi parametrami cech i nie wystąpi u nich efekt wybujałości mieszańców.



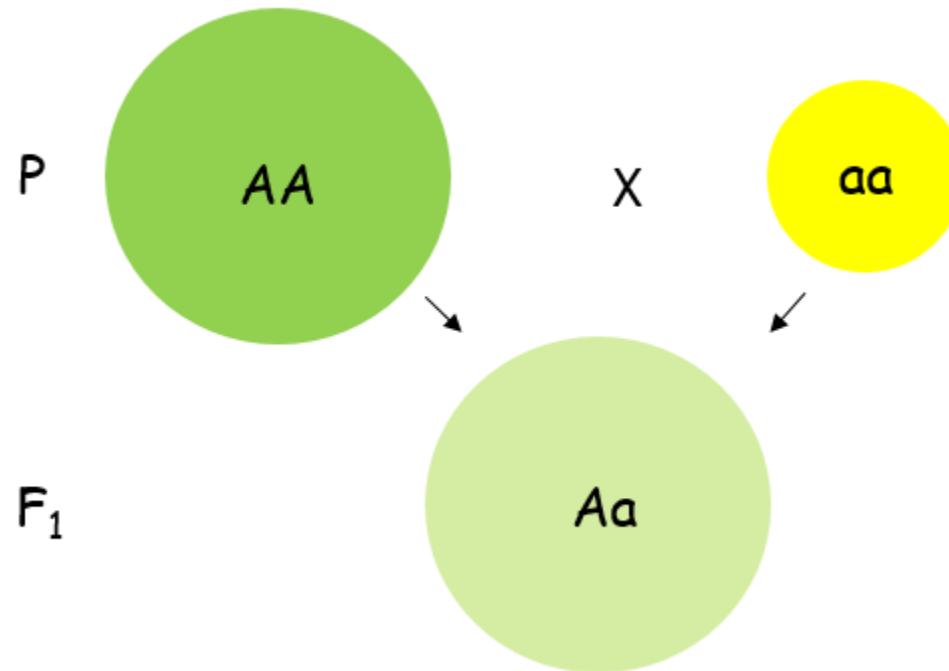
Genetyczne podłoże heterozji tłumaczą dwie hipotezy

Hipoteza naddominacji - zakłada ona, że kombinacja u heterozygoty dwóch przeciwstawnych alleli w danym *locus* daje większy, lepszy efekt, niż układ dwóch identycznych alleli u homozygoty, np. osobniki heterozygotyczne (Aa) są odporne na większą liczbę parazytów niż osobniki homozygotyczne (AA lub aa). U osobników heterozygotycznych ekspresji ulegają obydwie formy alleliczne genu (dominujący i recesywny), w wyniku czego efekt ich ekspresji się nakłada dając ostatecznie wyższą wartość danej cechy.



Rys 1. Efekt wzmożonej ekspresji genów osobników w pokoleniu F₁.
Wielkość owalu obrazuje wartość cechy osobników danej grupy.

Hipoteza szkodliwości (ujemnego wpływu) genów recesywnych - zakłada ona, że u osobników heterozygotycznych szkodliwość alleli recesywnych ujawnia się w mniejszym stopniu, niż u homozygot recesywnych. Heterozygoty pomimo posiadania w genotypie allelu recesywnego nie mają obniżonej wartości cechy, ale wykazują podobne wartości jak homozygoty dominujące.



Rys 2. Efekt negatywnego działania allelu recesywnego.
Wielkość owalu obrazuje wartość cechy osobników danej grupy.

Obie hipotezy mają różne konsekwencje w ekspresji genów.

Jeżeli główną przyczyną heterozji miałyby być naddominacja, wówczas u potomstwa w porównaniu do rodziców powinna wystąpić nadekspresja pewnych genów wynikająca z nałożenia się efektów działania dwóch alleli.

Jeżeli natomiast druga hipoteza byłaby podstawą lepszej kondycji mieszańców, wówczas u potomstwa powinno ujawnić się mniej genów o niskiej ekspresji w porównaniu do ich rodziców, którzy są homozygotami recesywnymi. Ponadto dla każdego allelu ekspresja powinna być porównywalna do obserwowanej u lepszego z rodziców.



Efekt heterozji często wykorzystywany jest w hodowli roślin. Bardzo często hoduje się specjalne linie rodzicielskie, aby uzyskać mieszańce o wyższej wydajności. Przykładem wykorzystania zjawiska heterozji bardzo rozpowszechnionym w hodowli roślin jest kukurydza uprawiana na ziarno.



Przykłady efektu heterozji w hodowli zwierząt

W odniesieniu do bydła, mieszańce Aberdeen Angus x Hereford znane jako „Black Baldy” bardzo popularne w Ameryce Północnej, Australii i Nowej Zelandii; mieszańce charakteryzują się wyższymi wartościami cech mięsnych, dodatkowo krzyżowanie to wykorzystuje się w przypadku jałówek, aby zmniejszyć wymiary cieląt, w wyniku czego zmniejsza się ryzyko komplikacji przy porodzie, które są charakterystyczne dla herefordów; krowy „Black Baldy” charakteryzują się ponadto bardzo dobrymi cechami macierzyńskimi.

W odniesieniu do trzody chlewnej są to mieszańce Hampshire x Yorkshire znane jako „Blue Butts”.

W przypadku drobiu wykorzystuje się krzyżowanie dwóch ras White Rocks x White Cornish w celu pozyskania komercyjnych brojlerów - mieszańce po rasie White Cornish dziedziczą większe wymiary ciała, natomiast po rasie White Rocks - większe dzienne przyrosty.

Szacowanie efektów heterozji

Efekt heterozji i jego wielkość może być określany jako:

- procentowy wzrost wartości cechy ponad wartość cechy lepszej z populacji rodzicielskiej;
- procentowy wzrost wartości heterozygot ponad wartość średniej z populacji rodzicielskiej lub średnią wartość obu populacji rodzicielskich;
- procentowy wzrost wartości cechy pokolenia F1 ponad najlepszą wartość uprawy hodowlanej (komercyjnej) na danym obszarze (wykorzystywane u roślin).



Można oszacować efekt heterozji poprzez porównanie wartości populacji rodzicielskich oraz powstałych w wyniku krzyżowania.

Jeżeli wartość cechy linii rodzicielskiej A (μ_A) wynosi:

$$\mu_A = \mu + a_A + m_A$$

gdzie: μ - średnia wartość cechy w populacji; a_A - efekt bezpośrednich czynników genetycznych (wartość hodowlana); m_A - genetyczny efekt mateczny;

Wartość cechy w populacji rodzicielskiej B (μ_B) wynosi:

$$\mu_B = \mu + a_B + m_B$$

gdzie: μ - średnia wartość cechy w populacji; a_B - efekt bezpośrednich czynników genetycznych (wartość hodowlana); m_B - genetyczny efekt ojcowski;



to wartość cechy w pokoleniu F_1 w wyniku kojarzenia samic z linii A i samców z linii B wyniesie:

$$\mu_{AB} = \mu + \frac{(a_A + a_B)}{2} + m_A + h_{AB}$$

natomiast w wyniku kojarzenia samic z linii B z samcami z linii A odpowiednio:

$$\mu_{BA} = \mu + \frac{(a_A + a_B)}{2} + m_B + h_{AB}$$

gdzie h_{AB} – efekt heterozji (podawany w jednostkach cechy).

Na podstawie powyższych założeń efekt heterozji można oszacować według wzoru:

$$h_{AB} = \frac{(\mu_{AB} + \mu_{BA})}{2} - \frac{(\mu_A + \mu_B)}{2}$$



Czasami jednak w wyniku krzyżowania zimbredowanych linii rodzicielskich nie uzyskujemy efektu heterozji, a uzyskane potomstwo mieszańców charakteryzuje się takimi samymi lub gorszymi wartościami cech jak rodzice.

Zjawisko to określane jest jako depresja outbredowa. Częściej dotyczy ono populacji zwierząt wolno żyjących niż zwierząt hodowlanych i najprawdopodobniej związane jest z tym, że populacje rodzicielskie są lepiej dostosowane w wyniku długotrwałej selekcji do danych warunków środowiskowych ujawniając najlepsze wartości cech.

Natomiast heterozygotyczne potomstwo zatracą te zdolności poprzez „wymieszanie” efektów działania alleli. Może to być też związane ze zbyt małą odrębnością genetyczną wyjściowych populacji rodzicielskich (dzieli je zbyt mały dystans genetyczny), co powoduje brak ujawnienia się heterozji u potomstwa.



Depresja inbredowa jest jednym z głównych czynników powodujących obniżenie zdolności adaptacyjnych zinbredowanych organizmów oraz ich żywotności w porównaniu do osobników niezinbredowanych, istotnie zwiększając ryzyko, a w ostateczności mogąc doprowadzić do wyginięcia populacji, zwłaszcza małej.

Depresja inbredowa może pojawić się w populacji, w której zachodzą kojarzenia w pokrewieństwie i jest konsekwencją wzrostu homozygotyczności wynikającego z tego typu kojarzeń.



Różne allele mają różną siłę oddziaływania na organizm, na jego cechy warunkujące przystosowanie do warunków środowiska, cechy istotne z punktu widzenia funkcjonowania organizmu i jego przeżycia. Allele niekorzystne są poprzez selekcję naturalną eliminowane z populacji.

Problem depresji inbredowej rzadko dotyczy dużych populacji ponieważ ujawnianie się działania genów niekorzystnych jest rzadkie, zwłaszcza przy kojarzeniach losowych.

Jest on natomiast istotny w populacjach małych, o ograniczonej liczebności, w których jest duże prawdopodobieństwo kojarzeń w pokrewieństwie i przekazania dwóch kopii tego samego, niekorzystnego allelu potomstwu, u którego ujawni on swoje działanie.



Jeżeli frekwencja homozygot recesywnych w populacji, w której zachodzą kojarzenia losowe wynosi q^2 , to w przypadku populacji zimbredowanej ta frekwencja wyniesie już $q^2 + pqF$, gdzie F oznacza współczynnik inbredu. Ma to znaczący wpływ na częstość ujawniania się chorób, bądź cech niekorzystnych w populacji.

Jeżeli frekwencja allelu recesywnego wynosi 0,01, wówczas frekwencja genotypu homozygotycznego recesywnego związanego np. z chorobą genetyczną przy kojarzeniach losowych wyniesie 0,0001.

Jeżeli natomiast nastąpi kojarzenie osobników, dla których współczynnik inbredu wynosi 0,0625 (czyli ich rodzice byli rodzeństwem, a oni są kuzynami), wówczas częstość ta wzrośnie ponad siedmiokrotnie i wyniesie 0,00072.



Dla różnych populacji zwierząt gospodarskich szacuje się depresję inbredową, ponieważ wpływa ona (przeważnie niekorzystnie) na cechy produkcyjne.

Depresję inbredową podaje się przeważnie w postaci współczynnika regresji określającego, o ile średnio zmieni się wartość cechy, gdy współczynnik inbredu zmieni się o 1% (lub 10%).

Można też podawać tę zmianę w procentach średniej wartości cechy w analizowanej populacji.

Określa się także, przy jakiej wartości współczynnika inbredu wartość cechy drastycznie się zmienia.





Spowodowana wieloma mutacjami o małych efektach; wskutek przypadku (dryf genetyczny) wiele z takich mutacji może mieć wysokie frekwencje.



Spowodowana pojedynczymi, rzadkimi mutacjami o dużych efektach.



Partners:



Siedlce University
of Natural Sciences
and Humanities



Czech University
of Life Sciences Prague



Thank you for your attention!

This presentation has been supported by the Erasmus+ KA2 Cooperation Partnerships grant no. 2021-1-SK01-KA220-HED-000032068 "Innovation of the structure and content of study programs in the field of animal genetic and food resources management with the use of digitalisation - Inovácia obsahu a štruktúry študijných programov v oblasti manažmentu živočíšnych genetických a potravinových zdrojov s využitím digitalizácie". The European Commission support for the production of this presentation does not constitute an endorsement of the contents which reflects the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.



Katarzyna Andraszek



katarzyna.andraszek@uph.edu.pl

