

Последствия 26 поколений отбора норок (*Neogale vison*) по оборонительной реакции на человека

Трапезов О.В.^{1, 2*}, Некрасова М.А.¹, Степанова М.А.^{1, 3}, Баишникова И.В.⁴, Илюха В.А.⁵, Калинина С.Н.⁴, Кижина А.Г.⁴, Морозов А.В.⁴, Панова Э.В.⁴, Балан О.В.⁴

¹ Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

² Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

³ Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

⁴ Институт биологии КНЦ РАН, Петрозаводск, Россия

⁵ Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, Борок, Ярославская область, Россия

* trapezov@bionet.nsc.ru

Ключевые слова: селекция; *Neogale vison*; оборонительное поведение; пищеварение; физиологические признаки

Мотивация и цели: В ходе многолетнего эксперимента по селекционному преобразованию оборонительной реакции на человека у американских норок было показано, что отбор открывает новые возможности для наследственной изменчивости в том же направлении, в котором действует сам отбор. Такой отбор способен создавать увеличение темпов и размаха изменчивости не только в направлении своего действия, но и в других направлениях (Беляев, 1968, 1970, 1972, 1974, 1979, 1981, 1983; Беляев, Трут, 1964, 1982, 1983; Trut, 1999, 2007, 2008; Trapezov, 1987, 2012). Цель работы – сравнение темпов и размаха изменчивости в двух линиях норок, селекционируемых на ручное и агрессивное поведение.

Методы и алгоритмы: За 26 поколений отбора в популяции американских норок клеточного разведения генотипа *Standard dark brown* (+/+) были созданы две линии животных с ручным и агрессивным поведением по отношению к человеку. В ходе селекционного преобразования поведения рассчитывались: 1) *селекционный сдвиг* – разность между средними значениями признака у потомства отобранных родителей и в родительском поколении в целом; 2) *селекционный дифференциал* – разность между средними значениями признака у особей, отбираемых в качестве родителей следующего поколения и в целой популяции; 3) *величины реализованной наследуемости* h^2 – насколько величина селекционируемого признака обусловлена наследственностью и насколько влиянием внешней среды; 4) *коэффициенты отбора* – S (%); 5) *популяционные коэффициенты инбридинга по Фальконеру* – F_t ; 6) фактические ответы на отбор (R) на поколение.

Результаты: В ходе эксперимента по селекционному преобразованию оборонительной реакции были выявлены взаимоотношения между направлением отбора и изменчивостью по поведению. Прежде всего, как видно на рис. 1, фенотипическая изменчивость при отборе на доместикационное поведение на два порядка величин выше, чем в группе, селекционируемой на агрессивное поведение. Расчеты среднего показателя фактического ответа на отбор на одно

поколение показывают наибольший эффект отбора по доместизируемым животным. Причем по ним наблюдается половой диморфизм – наибольший эффект отбора зафиксирован по самцам. В экспрессивности ручного поведения (самцы достоверно более ручные, чем самки ($p < 0.001$)). Причем величина фенотипической вариации селекционируемого признака в доместизируемой популяции на два порядка величин выше, чем в популяции, селекционируемой на агрессивность. Средний показатель фактического ответа на отбор на одно поколение по агрессивным животным, как по самцам, так и по самкам, практически одинаковый.

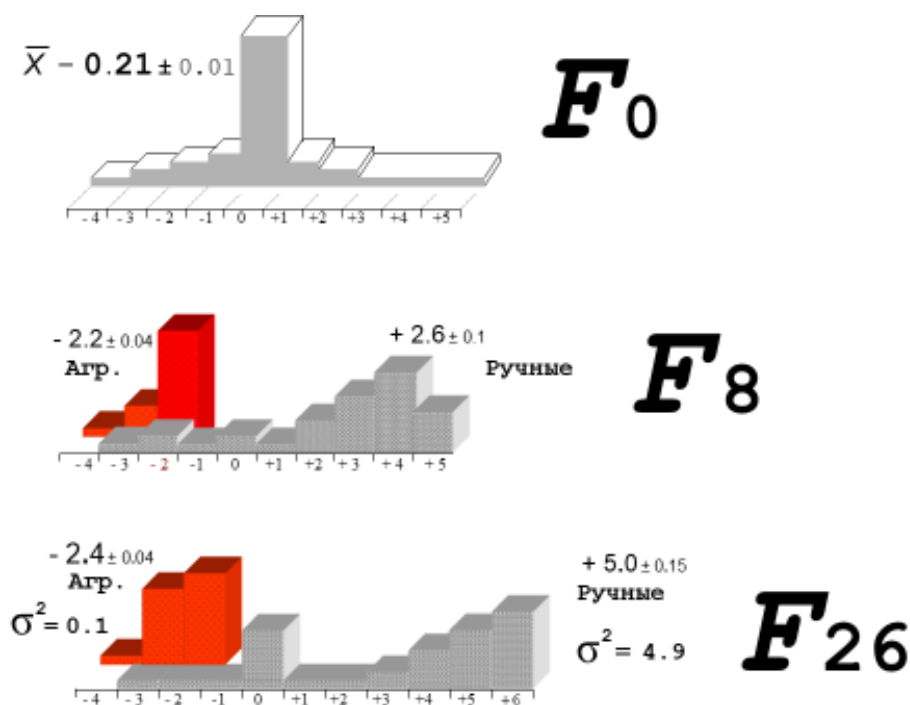


Рис. 1

Реализованная наследуемость, оцененная как отношение сдвига при отборе (R) к селекционному дифференциалу (S), показала, что за ответ на первые два поколения «минус»-отбора ответственны около 60 % аддитивного разнообразия, «плюс»-отбора – около 40 % (37 % для самок и 38 % для самцов). Существенный сдвиг, полученный в течение первых двух поколений отбора на агрессивность, указывает на то, что число основных генов, детерминирующих порог агрессивных реакций, минимально, возможно, не более двух-трех, и они быстро фиксируются на первых этапах отбора.

Отбор по оборонительной реакции на человека приводит к перестройкам регуляции физиологических функций. Животные из агрессивной линии характеризовались более высоким базальным уровнем кортизола в сыворотке крови по сравнению с ручными животными. В то же время ручные особи отличались от агрессивных повышенным содержанием эозинофилов, но сниженным – нейтрофилов, более крупными размерами лимфоцитов и меньшим

ядерно-клеточным соотношением. У ручных норок обнаружен амилолитический профиль активности пищеварительных ферментов и более высокое содержание витаминов *A* и *E* в печени, тогда как агрессивные особи отличались более высокой активностью протеолитических и липолитических ферментов пищеварительного тракта. Можно допустить, что генная компонента, контролирующая поведение, затрагивает регуляцию таких физиологических функций, как иммунитет, гемопоэз и активность пищеварительных ферментов.

Заключение: Изменения, происходящие в результате отбора по оборонительной реакции на человека, трудно интерпретировать с позиций мутационных изменений отдельных генов, контролирующих те или иные признаки. Сложность интерпретации формообразовательных процессов во взаимоотношении «человек–животное» отражает изменения в процессе отбора регуляторных генов, вовлекаемых в регуляцию генетической активности на разных стадиях морфогенеза, а потому играющих большую роль в эволюционных преобразованиях.

Финансирование: Работа поддержана бюджетным проектом Института цитологии и генетики СО РАН № FWNR-2022-0023.

Consequences of 26 generations of selection in minks (*Neogale vison*) on defensive reaction towards man

Trapezov O.V.^{1, 2*}, Nekrasova M.A.¹, Stepanova M.A.^{1, 3}, Baishnikova I.V.⁴, Ilyukha V.A.⁵, Kalinina S.N.⁴, Kizhina A.G.⁴, Morozov A.V.⁴, Panova E.V.⁴, Balan O.V.⁴

¹ Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

² Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

³ Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

⁴ Institute of Biology of Karelian Research Centre RAS, Petrozavodsk, Russia

⁵ Papanin Institute for Biology of Inland Waters, RAS, Borok, Yaroslavl region, Russia

* trapezov@bionet.nsc.ru

Key words: selection; *Neogale vison*; defensive behaviour; digestion; physiological traits

Motivation and Aim: During a long-term experiment on the selective transformation of the defensive reaction towards man in American minks, it was shown that selection opens up new opportunities for hereditary variability in the same direction in which selection itself acts. such selection is capable of creating an increase in the rate and scope of variability not only in the direction of its action, but also in other directions [Belyaev, 1968, 1970, 1972, 1974, 1979, 1981, 1983; Belyaev, Trut, 1964, 1982, 1983; Trut, 1999, 2007, 2008; Trapezov, 1987, 2012]. The aim of the work is to compare the rate and scope of variability in two lines of minks selected for tame and aggressive behavior.

Methods and Algorithms: Over 26 generations of selection in the American mink population of cage breeding of the *Standard dark brown* (+/+) genotype, two lines of animals with tame and aggressive behavior towards man were created. During the selection transformation of behavior, the following were calculated: (1) selection shift – the difference between the average values of a trait in the offspring of selected parents and in the parent generation as a whole; (2) selection differential – the difference

between the average values of a trait in individuals selected as parents of the next generation and in the whole population; 3) the value of realized heritability – h^2 , to what extent the value of the selected trait is due to heredity and to what extent to the influence of the external environment; (3) the value of realized heritability – h^2 , to what extent the value of the selected trait is due to heredity and to what extent to the influence of the external environment; (4) selection coefficients – S (%); (5) population inbreeding coefficients according to Falconer – F_t ; (6) actual responses to selection (R) per generation.

Results: During the experiment on the selective transformation of the defensive reaction, the relationship between the direction of selection and variability in behavior was identified. First of all, as can be seen in Figure 1, phenotypic variability during selection for domestication behavior is two orders of magnitude higher than in the group selected for aggressive behavior. Calculations of the average actual response to selection per generation show the greatest effect of selection on domesticated animals. Moreover, sexual dimorphism is observed in them – the greatest selection effect was recorded in males. In the expressiveness of tame behavior (males are significantly more tame than females ($p < 0.001$)). Moreover, the value of the phenotypic variation of the selected trait in the domesticated population is two orders of magnitude higher than in the population selected for aggressiveness. The average actual response to selection for one The generation of aggressive animals, both males and females, is almost the same.

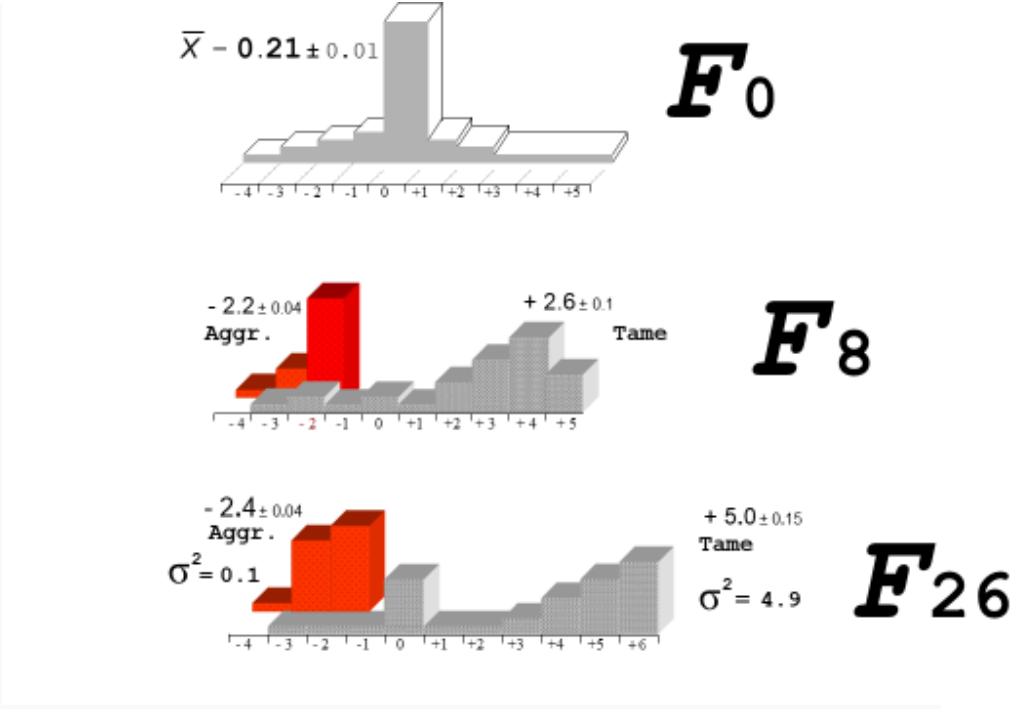


Fig. 1

Realized heritability, estimated as the ratio of the selection shift (R) to the selection differential (S), showed that about 60 % of the additive diversity is responsible for the response to the first two generations of “minus” selection, and about 40 % of “plus” selection (37 % for females and 38 % for males). The significant shift obtained during the first two generations of selection for aggressiveness indicates that the number of

main genes that determine the threshold of aggressive reactions is minimal, perhaps no more than two or three, and they are quickly fixed in the first stages of selection. Selection for a defensive reaction to humans leads to changes in the regulation of physiological functions. Animals from the aggressive line were characterized by higher basal levels of cortisol in the blood serum compared to tame animals. At the same time, tame individuals differed from aggressive ones by an increased content of eosinophils, but a decreased content of neutrophils, larger lymphocyte sizes and a lower nuclear-cell ratio. Tame minks showed an amylolytic profile of digestive enzyme activity and a higher content of vitamins A and E in the liver, while aggressive individuals had a higher activity of proteolytic and lipolytic enzymes of the digestive tract. It can be assumed that the gene component that controls behavior affects the regulation of such physiological functions as immunity, hematopoiesis and the activity of digestive enzymes.

Conclusion: Changes occurring as a result of selection for a defensive reaction towards man are difficult to interpret from the standpoint of mutational changes in individual genes that control certain traits. The complexity of interpreting the morphogenesis processes in the “human–animal” relationship reflects changes in the process of selection of regulatory genes involved in the regulation of genetic activity at different stages of morphogenesis, and therefore playing a large role in evolutionary transformations.

Funding: The study is supported by Institute of Cytology and Genetics, SB RAS No. FWNR-2022-0023.