

УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ
КРУПНОМАСШТАБНЫХ СИСТЕМ
MLSD'2019

МАТЕРИАЛЫ ДВЕНАДЦАТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
(1–3 ОКТЯБРЯ 2019 г., МОСКВА, РОССИЯ)

Под общей редакцией академика С.Н. Васильева, д.т.н. А.Д. Цвиркуна

НАУЧНОЕ ЭЛЕКТРОННОЕ ИЗДАНИЕ

Москва
ИПУ РАН
2019

СЕКЦИЯ 15: УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ КРУПНОМАСШТАБНЫХ
СИСТЕМ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ СИ-
СТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ

с. 1138-1139

Новые аспекты в трактовке параметров функции Гомпертца
и их использовании в задачах прогнозирования
выживаемости и разведении продуктивных животных

Черепанов Г.Г.

*ВНИИ физиологии, биохимии и питания животных - филиал ФНЦ животноводства -
ВИЖ им. ак. Л.К. Эрнста, Боровск Калужской обл., Российская Федерация*

Аннотация. На основе базы данных по племенному учёту молочных коров и численного моделирования с использованием функции Гомпертца показано, что продолжительность продуктивной жизни в группах и популяциях животных в значительной степени определяется уровнем жизнеспособности, сформированным к возрасту репродуктивной зрелости.

Введение

Разработка программ научно-технологического развития имеет важнейшее значение для подотраслей АПК, обеспечивающих продовольственную безопасность, в том числе для молочного скотоводства. Учитывая ряд негативных тенденций в этой отрасли в РФ в плане сокращения численности популяций, качества, пищевой безопасности молочной продукции и рентабельности производства, целевым ориентиром должна стать задача создания и устойчивого воспроизводства популяций молочных коров нового типа со сбалансированным соотношением параметров продуктивности, жизнеспособности и плодовитости. Для этого нужны ясные количественные критерии для раннего прогнозирования племенных и продуктивных качеств и проведения скринингового исследования физиологического статуса животных на всех этапах онтогенеза.

Цель данной работы – анализ эмпирических данных по динамике выживаемости в неоднородной популяции молочных коров, выявление закономерностей в соотношении параметров функции Гомпертца и формулирование на этой основе ориентиров для разведения и устойчивого воспроизводства популяций молочных коров нового типа.

Материал и методы

Для анализа выживаемости использован метод поперечного исследования; в качестве материала исследования использовали данные производственного учёта возрастного состава стада коров по региональным производственным подразделениям Ленинградской области в период 1985-1990 гг., усреднённые за 5 лет с целью компенсации отклонений от стационарности условий обновления стада. При этом последовательные возрастные группы представляют собой остатки соответствующих когорт (совокупностей генетически однородных особей одного и того же года рождения). Интенсивность выбытия из когорты (выбраковки по сумме причин) описывалась функцией Гомпертца:

$$y_c(t) = \Delta S / (S * \Delta t) = B \exp(ct),$$

где S – численность когорты в момент времени t (номер лактации), ΔS – величина уменьшения численности за отрезок $\Delta t = 1$. В расчётах выживаемости использовали «усечённое» распределение Гомпертца – без учёта небольшого количества особей – «рекордных долгожителей». Наибольшее значение t (номер последней завершённой лактации) в оставшейся части когорты принималось в качестве максимальной продолжительности продуктивной жизни.

Для проверки корректности этого приёма производилось сравнение приближённого решения (аппроксимация с использованием «усечённого» распределения, дискретной шкалы времени и численных расчётов) и точного аналитического прогноза по формуле:

$$T = c^{-1} \exp(e^{-c}/(c/y_1)) * [Ei(e^{-c}/(c/y_1)) - Ei(e^{(t_{max}-1)c}/(c/y_1))],$$

где T – средняя продолжительность продуктивной жизни (порядковый номер лактации); y_1 – интенсивность выбытия на первой лактации, $Ei(x) = \int_x^\infty \frac{e^{-y}}{y} dy$ – интегральная экспонента).

Сравнительный анализ полученных результатов показал, что для практических целей можно использовать методику приближённого численного расчёта (Черепанов и др., 2017).

Результаты и обсуждение

Динамика выбытия коров из дойного стада в координатах интенсивность выбытия – номер лактации аппроксимировалась функцией Гомпертца при среднем значении R^2 , равном 0,79 для 15 проанализированных производственных подразделений и в целом по области. При этом отмечен более высокий уровень вариабельности параметра B (интенсивность выбытия на первой лактации), по сравнению с величиной c (для B и c относительный размах значений (max-min)/среднее арифм. = 0,76 и 0,48 соответственно).

Ранее были получены определённые основания для трактовки величины, обратной y_{c1} в качестве показателя, характеризующего потенциал жизнеспособности («сопротивляемости смертности» по Б. Гомпертцу) популяции или группы животных (Черепанов и др., 2017). Эта эмпирически выявленная закономерность подтверждается теоретическим анализом, т.е. аналитическим прогнозом зависимости средней продолжительности жизни T от интенсивности выбытия на первой лактации, $1/y_1$. Иными словами, различия в уровне жизнеспособности, сформированном к началу репродуктивной деятельности, могут определять (в среднем по группе или популяции) различия в показателях продолжительности продуктивной жизни животных, т.е. в значениях T и t_{max} (Черепанов, 2018).

Эта взаимосвязь наиболее чётко выражена, если сравниваемые группы или популяции имеют схожие значения показателя экспоненты «с» в функции Гомпертца. Такое теоретически возможно в ситуации, если «темп старения», характеризуемый показателем экспоненты, определяется, в основном, устойчивыми генетическими факторами, в том числе породой. Поэтому было предположено, что исследованная популяция в целом характеризовалась одним и тем же значением c , а наблюдаемые вариации этого параметра в региональных подразделениях данной популяции объясняются либо статистической погрешностью полученных оценок, либо влиянием других факторов, например, гетерогенностью исследованных стад по параметру B . Определённым доводом в пользу этой трактовки можно считать линейную обратную взаимосвязь между параметрами c и B , установленную по 16 исследованным производственным группам: $c = 0,19 - 0,45 * B$, $R^2 = 0.70$, $P < 0.001$.

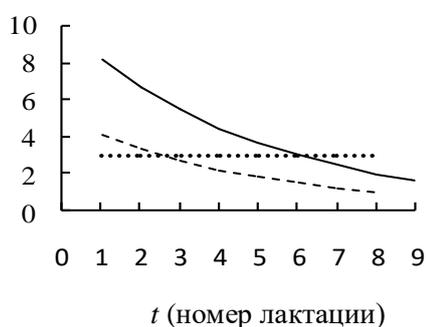
Для проверки корректности сделанных предположений были проведены расчёты по анализу выживаемости для четырёх модельных гетерогенных популяций, имеющих одно и то же значение параметра $c = 0.1$, но различающихся по значению параметра B . В каждой из четырёх серий расчёта варьировали значения B и начальную численность N . Для доказательства корректности исходных предположений требовалось по результатам расчётов показать следующее: 1) динамика интенсивности выбытия в четырёх вариантах общей популяции аппроксимируется функцией Гомпертца с достаточно высоким значением коэффициента детерминации, и 2) по четырём вариантам модельных популяций выявляется линейная обратная взаимосвязь между параметрами c и B , аналогичная установленной при анализе эмпирических данных.

Динамика интенсивности выбытия для четырёх модельных гетерогенных популяций аппроксимировалась функцией Гомпертца с высоким коэффициентом детерминации ($R^2 = 0,81-0,92$), значения показателя экспоненты c для этих гетерогенных популяций варьировали в пределах

0,079-0,113, при этом имела место отрицательная корреляция между значениями c и B : $c = 0.264 - 0.610 * B$, $R^2 = 0.96$, $P < 0.001$.

Аналогичная отрицательная взаимосвязь выявлена по всему массиву из 16 модельных субпопуляций между средней длительностью продуктивной жизни T и параметром B в функции Гомпертца: $T = 5,12 - 6,73 * B$, $R^2 = 0,74$, $P < 0.001$.

Результаты проведенного численного моделирования свидетельствует в пользу сделанного предположения о том, что в исследованной популяции коров «температура старения», характеризуемый показателем экспоненты в эмпирической функции Гомпертца, определяется, в основном, устойчивыми генетическими факторами, в том числе породными особенностями, тогда как фактически наблюдаемая популяционная вариабельность длительности продуктивной жизни животных в значительной степени зависит от «потенциала» жизнеспособности, сформированного к началу репродуктивного периода. На рис. 2 в качестве иллюстрации с непрерывной шкалой времени показаны два варианта динамики жизнеспособности в когортах, имеющих разные значения параметра B (0,1 и 0,2) и одно значение c (0,2). Расчётные моменты времени, соответствующие достижению нижней границы защитных сил и исчерпанию соответствующих когорт (длительность продуктивной жизни) – 6 и 2,5 лактации.



По оси ординат – показатель жизнеспособности, $1/y_c(t)$ – условная нижняя граница жизнеспособности (уровня защитных сил), определяющая сроки исчерпания когорт.

Поскольку результат этих эффектов и взаимодействий зависит не только от наследуемых генетических структур, но и от «истории» событий, происходящих в критические периоды развития, то у коров рождаются потомки, а в стадах и в популяциях к началу репродуктивной зрелости возникают группы (субпопуляции) с разным потенциалом жизнеспособности.

Заключение

Для создания и устойчивого воспроизводства популяций молочных коров со сбалансированным соотношением параметров продуктивности, жизнеспособности и плодовитости нужны ясные количественные критерии для определения принадлежности животных к различным внутривидовым группам, субпопуляциям и породам, а также эффективные тесты для учёта биологических механизмов «взаимодействия генотипа и среды». Проведенное исследование динамики выживаемости коров чёрно-пёстрой породы с использованием базы данных по 16 региональным производственным подразделениям в Ленинградской области, проведением теоретического анализа и численного моделирования выявило новые аспекты в трактовке параметров функции Гомпертца, которые можно использовать для ранней оценки племенных качеств животных, разработки критериев отбора, количественного прогнозирования и совершенствования управления стадом.

Величина, обратная интенсивности выбытия на первой лактации, характеризует потенциал жизнеспособности данной группы животных; различия в уровне жизнеспособности, сформированном к началу репродуктивной деятельности, могут определять (в среднем по группе или популяции) различия в показателях продолжительности продуктивной жизни животных.

Для получения достаточного поголовья молочного скота оптимального типа необходимо создавать систему мониторинга внешних воздействий и физиологического статуса животных на всех этапах онтогенеза, а также соответствующие технологии архивации и анализа данных для поиска прогностических тестов и разработки эффективных селекционных стратегий.

Такая трактовка полученных результатов согласуется с данными научных исследований и эмпирических наблюдений, свидетельствующих о том, что «начальный» уровень жизнеспособности является результатом взаимодействия между генетически обусловленными эффектами и эпигенетическими модификациями, фиксирующимися в ответ на воздействие эндогенных и экзогенных факторов на этапах онтогенеза, предшествующих возрасту репродуктивной зрелости (Odent, 1986; Один, 2011; Вайсерман и др., 2011; Джагаров, 2018).

ЛИТЕРАТУРА

1. Вайсерман А.М., Войтенко В.П., Мехова Л.В. Эпигенетическая эпидемиология возраст-зависимых заболеваний // Онтогенез, 2011, 42(1): 30-50.
2. Один В.И. Кризис геронтологии: к вопросу о первичном здоровье в XX веке // Успехи геронтологии, 2011, 24(1): 11-23.
3. Черепанов Г.Г., Михальский А.И., Новосельцева Ж.А. Оценка параметров выживаемости для составляющих неоднородной популяции продуктивных животных: анализ проблемы, варианты приближённого решения // Проблемы биологии продуктивных животных. 2017, 4: 81-95.
4. Cherepanov G.G. Prediction of viability of cows: a new look at the old problem // Agr. Res. Techn. Open Access J. 2018, 14(5) DOI: 10.19080/ARTOAJ.2018.14.555931
5. Odent M. Primal Health. – London: Century Hutchinson, 1986.